



Siperianlehtikuusen (*Larix sibirica*) luontainen lahonkestävyys maalahotuskokeessa

Tapio Sutela
Maisterintutkielma
Helsingin yliopisto
Metsätieteiden maisteriohjelma
Metsien ekologia ja käyttö
Helmikuu 2019

1. JOHDANTO	6
1.1 Siperianlehtikuusi	6
1.1.1 Siperianlehtikuusi Suomessa.....	6
1.1.2 Puuaineen ominaispiirteitä	9
1.1.3 Puuaineen luontainen lahonkestävyys.....	12
1.2 Laho	17
1.2.1 Puuaineen ominaisuuksien muuttuminen.....	17
1.2.2 Luontaisen lahonkeston tutkiminen	19
1.3 Tutkimuksen tavoitteet	22
2. AINEISTO JA MENETELMÄT	23
2.1 Toteutettu maalahotuskoe.....	23
2.1.1 Maalahotuskokeen aineisto	25
2.1.2 Maalahotuskokeen koekappaleet eli latat.....	29
2.1.3 Tiheysnäytepalat	33
2.2. Suoritetut mittaukset.....	33
2.2.1 Visuaalinen tarkastelu ja pintakovuus.....	33
2.2.2 Taivutuskoe	35
2.3 Aineiston käsittely ja analysointi.....	36
2.3.1 Epäselvät latat ja mittaustiedot.....	36
2.3.2 Aineiston tarkastelutasot ja koeryhmät	37
2.3.3 Tilastollinen analysointi	38
3. TULOKSET	39
3.1 25-vuotiaat siperianlehtikuuset ja vertailuaineisto	39
3.1.1 Lahoasteen eroavuus neljän koeryhmän välillä	41
3.1.2 Neljän koeryhmän elinkaaret	42
3.2 Kloonien lahonkesto-ominaisuus	46
3.2.1 Lahoasteen eroavuus kloonien koeryhmien välillä	47
3.2.2 Kloonien elinkaaret	48
3.3 Kantapuumetsikkötason tarkastelu.....	51
3.3.1 Kantapuumetsikköiden koeryhmien lahoasteiden eroavuudet.....	52
3.3.2 Elinkaari kantapuumetsikkötasolla	54
3.3.3 Lahonkestoja selittäviä eroja	55
4. TULOSTEN TARKASTELU	59
4.1 25-vuotiaat siperianlehtikuusien lahonkestävyys ja vertailuaineisto.....	59
4.2 Luontainen lahonkestävyys klooni- ja kantapuumetsikkötasolla tarkasteltuna.....	61
5. JOHTOPÄÄTÖKSET	64
LÄHTEET	65

Tiedekunta/Osasto Fakultet/Sektion – Faculty Maatalous-metsätieteellinen tiedekunta		Laitos/Institution– Department Metsätieteiden osasto	
Tekijä/Författare – Author Tapio Sutela			
Työn nimi / Arbetets titel – Title Siperianlehtikuusen (<i>Larix sibirica</i> Lebed.) luontainen lahonkestävyys maalahotuskokeessa			
Oppiaine /Läroämne – Subject Metsien ekologia ja käyttö			
Työn laji/Arbetets art – Level Maisterintutkielma	Aika/Datum – Month and year Helmikuu 2019	Sivumäärä/ Sidoantal – Number of pages 70	
<p>Tiivistelmä/Referat – Abstract</p> <p>Siperianlehtikuusi (<i>Larix sibirica</i> Lebed.) on kesävihantaisena havupuuna Suomen metsissä kasvava erikoisuus. Sydänpuun luontainen lahonkesto on siperianlehtikuusen yksi arvostetuimmista ominaisuuksista, mikä näkyy puuaineen valikoitumisessa vesi- ja maarakentamisen kosteisiin käyttökohteisiin. Lahonkesto-ominaisuus liitetään usein talousmetsän kiertoajan loppupuolen tukkipuihin ja niistä saataviin jalosteisiin. Tämän tutkimuksen tarkoitus oli selvittää 25-vuotiaan siperianlehtikuusen sydänpuun luontaista lahonkesto-ominaisuutta.</p> <p>Luonnonvarakeskuksen Punkaharjun toimipisteellä Savonlinnassa on toteutettu EN 252-standardin mukainen maalahotuskoe. Pääaineisto muodostui 25-vuotiaista Imatran Neitsytneiemellä sijaitsevalta siemenviljelykseltä sv356 harvennetuista siperianlehtikuusi-klooneista. Siemenviljelys oli perustettu siementaimilla 25:stä eri emokloonista, joiden kantapuumetsiköt sijaitsivat Lapinjärvellä, Punkaharjulla sekä Ähtäriässä. Kantapuiden alkuperänä oli Raivolan lehtikuusikko. Maalahotuskokeessa vertailuaineistona mukana oli männyn (<i>Pinus sylvestris</i> L.) ja kuusen (<i>Picea abies</i> (L.) Karst.) sydänpuuta sekä vanhemman siperianlehtikuusen tiheää sydänpuuta.</p> <p>Kenttäkoe käynnistettiin vuoden 1996 syyskuussa. Lahon etenemistä ja vaikutusta seurattiin tekemällä syksyisin näytekappaleille (n=377) visuaalinen arviointi ja tarvittaessa taivutuskoemittaus. Näiden perusteella määritettiin koekappaleiden ja -ryhmien lahoasteet. Koekappaleita katkesi taivutuskoemittauksissa lahon aiheuttaman puuaineen heikkenemisen takia. Katkeamisajankohdan avulla määritettiin koekappaleiden ja -ryhmien elinkaaret. Kokeen päättyessä vuoden 2015 kesäkuussa, oli mittauksia tehty 12 vuotena. Koeryhmien lahoasteen muuttumisen analysoinnissa käytettiin yksisuuntaista toistettujen mittausten varianssianalyysiä. Koeryhmien elinkaaria analysoitiin Kaplan-Meier menetelmällä, log-rank-testillä.</p> <p>Molempien siperianlehtikuusien koeryhmien koekappaleita säilyi ehjänä kokeen läpi. Männyn ja kuusen koeryhmien kaikki koekappaleet katkesivat kokeen aikana. Tarkasteltaessa koeryhmien keskimääräisiä lahoasteita, 25-vuotiaan siperianlehtikuusen sydänpuun lahoasteen keskiarvo oli pienempi kuin kuusen sydänpuun, mutta lahoaste ei eronnut männyn sydänpuusta. Vanhemman ja tiheän siperianlehtikuusen sydänpuun lahoasteen keskiarvo oli pienempi kuin kolmen muun ryhmän. 25-vuotiaiden siperianlehtikuusien keskimääräinen elinkaari oli vähintään 9 vuotta 7 kuukautta. Männyn keskimääräinen elinkaari oli 7 vuotta 7 kuukautta, kuusen 5 vuotta 8 kuukautta. Vanhemman ja tiheän siperianlehtikuusen elinkaari oli vähintään 16 vuotta.</p> <p>Kokeen loppuun asti kestäneiden 25-vuotiaiden siperianlehtikuusien kantapuumetsiköt olivat Punkaharju ja Ähtäri. Punkaharjun kantapuumetsikköön pohjautuvien kloonien keskimääräinen lahoaste oli pienempi kuin Ähtäriin tai Lapinjärven. Kloonien välillä elinkaa- ren pituudella oli merkitsevä ero. Lyhyin elinkaari oli 6 vuotta ja pisin 12 vuotta. Punkaharjun ja Ähtäriin kantapuista olevien kloonien elinkaari oli merkitsevästi pidempi kuin Lapinjärven.</p> <p>Tuloksia varovasti tulkiten, siperianlehtikuusen lahonkesto vaikuttaa olevan kuusta parempi ja mäntyyn verrattuna ominaisuus parane siperianlehtikuusen ikääntyessä. 25-vuotiaiden siperianlehtikuusien puuaineen lahonkesto-ominaisuudessa oli havaittavissa kloonien välistä sekä kantapuumetsikkötason vaihtelua. Lahonkesto-ominaisuuteen vaikutti merkitsevästi minkä alueen kantapuista kloonit tulivat.</p>			
<p>Avainsanat – Nyckelord – Keywords Siperianlehtikuusi (<i>Larix sibirica</i> Lebed.), lahonkesto, kenttäkoe, maalahotuskoe, EN 252, mänty (<i>Pinus sylvestris</i> L.), kuusi (<i>Picea abies</i> (L.) Karst.), siemenviljelys, Neitsytneimi, Raivola.</p>			
<p>Säilytyspaikka – Förvaringställe – Where deposited Helsingin yliopiston kirjasto – Helda / E-thesis (opinnäytteet) ethesis.helsinki.fi</p>			
<p>Muita tietoja – Övriga uppgifter – Additional information</p>			

Tiedekunta/Osasto Fakultet/Sektion – Faculty Faculty of Agriculture and Forestry		Laitos/Institution– Department Department of Forest Sciences
Tekijä/Författare – Author Tapio Sutela		
Työn nimi / Arbetets titel – Title The natural resistance of Siberian larch (<i>Larix sibirica</i> Lebed.) to decay in a ground contact test.		
Oppiaine /Läroämne – Subject Forest Ecology and Management		
Työn laji/Arbetets art – Level Master's Thesis	Aika/Datum – Month and year February 2019	Sivumäärä/ Sidoantal – Number of pages 70
<p>Tiivistelmä/Referat – Abstract</p> <p>The Siberian larch (<i>Larix sibirica</i> Lebed.) is, as a deciduous conifer, a rarity in Finnish forests. The natural resistance to decay of its heartwood is one of the most highly valued characteristics of the Siberian larch, thanks to which it is often favoured in humid environments in water and earth construction projects. Resistance to decay is often related to logs and wood products from the last stages of the life cycle of a commercial forest. The objective of this study was to examine the natural resistance to decay of the heartwood of 25-year-old Siberian larch.</p> <p>A ground contact decay resistance test in compliance with the EN 252 standard was carried out at the Punkaharju unit of the Natural Resources Institute Finland in Savonlinna, Finland. The main data consisted of 25-year-old Siberian larches thinned from clonal seed orchard sv356 in Neitsytniemi, Imatra, Finland. The clonal seed orchard has been established using seedlings from 25 mother plants, the plus trees of which grow in Lapinjärvi, Punkaharju and Ähtäri, Finland. The plus trees originate from Raivola larch stand. The reference material used in the ground contact test was the heartwood of Scots pine (<i>Pinus sylvestris</i> L.), Norway spruce (<i>Picea abies</i> (L.) Karst.) and high-density heartwood of older Siberian larch.</p> <p>The field test was commenced in September 1996. The progress and impacts of decay were monitored by means of a visual inspection of test stakes (n=377) and bending test if required in the autumn, to determine the decay rate of the test stakes and test groups. Test stakes broke in the bending test due to decay-related weakening of the wood. The service lives of various test stakes and test groups were determined on the basis of the time of breaking of the wood. As the test ended in June 2015, measurements had been made in a total of 12 years. The one-way repeated measures ANOVA was used to measure the rate of decay in test groups. The service lives of the test groups were analysed using the Kaplan-Meier survival analysis and the log-rank test.</p> <p>Test stakes from both Siberian larch test groups remained unbroken throughout the test. All test stakes from the reference groups of Scots pine and Norway spruce broke during the test. The examination of average heartwood decay rates between test groups showed a lower average heartwood decay rate for the heartwood of the 25-year-old Siberian larch than for Norway spruce heartwood. The decay rate was the same as for Scots pine heartwood. The average decay rate of the older and dense Siberian larch heartwood was lower than that of the other three groups. The average service life of 25-year-old Siberian larches was a minimum of 9 years and 7 months, whereas the average service life of Scots pine was 7 years and 7 months, and that of Norway spruce 5 years and 8 months. The service life of the older and dense Siberian larch was a minimum of 16 years.</p> <p>The plus tree stands of the 25-year-old Siberian larches that remained unbroken throughout the tests were located in Punkaharju and Ähtäri. The average decay rate of clones from the Punkaharju was lower than that of test stakes from Ähtäri or Lapinjärvi. The difference between the service lives of clones was statistically significant. The shortest service life was 6 years and the longest 12 years. The service life of clones originating from the plus trees from the clonal seed orchards of Punkaharju and Ähtäri was statistically significantly longer than that of clones from Lapinjärvi.</p> <p>A conservative interpretation of the results would indicate that the decay resistance of the Siberian larch seems to be better than that of Norway spruce. Compared to Scots pine, the decay rate improves as the Siberian larches age. Variation was found in the decay resistance of 25-year-old Siberian larches both between clones and between plus tree stands. The area of origin of the plus trees of the clones had a significant impact on decay resistance.</p>		
<p>Avainsanat – Nyckelord – Keywords Siberian larch (<i>Larix sibirica</i> Lebed.), natural durability, decay resistance, field test, ground contact test, EN 252, Scots pine (<i>Pinus sylvestris</i> L.), Norway spruce (<i>Picea abies</i> (L.) Karst), clonal seed orchard, Neitsytniemi, Raivola.</p>		
<p>Säilytyspaikka – Förvaringställe – Where deposited Helsinki University Library – Helda / E-thesis (Master's theses) ethesis.helsinki.fi</p>		
<p>Muita tietoja – Övriga uppgifter – Additional information</p>		

KIITOKSET

Tuntuu hienolta olla opinnoissani tässä vaiheessa – kirjoittamassa kiitokset maisterintutkimani alkuun. Pelkästä aikomuksesta kirjoittaa gradu ei synny konkretiaa ilman oikeaa aineistoa. Kiitos Juha Rikalalle hyvästä keskustelutuokiosta, jonka jälkeen minulla oli vihje siperianlehtikuusen jäljille. Tie vei Punkaharjulle Etelä-Savon maakuntaan. Sieltä sain haltuuni vihreän mapin, joka sisälsi arvokasta ja aiemmin analysoimatonta tietoa siperianlehtikuusesta. Kiitos Martti Venäläiselle Luonnonvarakeskukseen, että uskoit aineiston vastuulleni. Mapin sisältö osoittautui mielenkiintoiseksi, monipuoliseksi ja viisaiseksi. Kiitän työni ohjaajia Marketta Sipiä ja Marttia, teitte hyviä huomioita työni sisällöstä ja kärsivällisesti autoitte minua tekemään tutkielmastani selkeämpää kokonaisuutta.

Saadusta vertaistuesta osoitan kiitokseni ”Asiantuntijoille”. Syksyllä 2015 alkanut yhteinen taival vei opinnot lennokkaasti eteenpäin. Vanhemmilleni teivät, kiitos ja kumssituestanne Viikki-matkani aikana. Suuri kiitos kuuluu oikeutetusti myös kotijoukoilleni - ilman teidän neljän ymmärrystä, läsnäoloa, ihmettelyä ja lämmintä tukeanne ei tästä valmista olisi tullut.

Espoossa helmikuussa 2019

Tapio Sutela

1. JOHDANTO

1.1 Siperianlehtikuusi

Kesävihantainen siperianlehtikuusi (*Larix sibirica* Lebed.) on metsissämme kasvava erikoisuus. Lehtikuuset ovat huomiota herättäviä erityisesti keväisin ja syksyisin. Keväällä neulasten puhjetessa ja niiden kasvaessa pituutta heleä vaaleanvihreä väri antaa omaleimaisen sävynsä luontoon. Kasvukauden lopussa neulaset kellastuvat ja auringon säteiden osuessa oikeassa kulmassa latvuksiin saa se puut hehkumaan voimakkaasti. Tällöin siperianlehtikuusien syysvärin kontrasti sinistä kuulasta taivasta vasten on suorastaan mykistävä.

1.1.1 Siperianlehtikuusi Suomessa

Lehtikuusi ei kasva kotimaassamme luontaisena, ja täällä kasvavat metsiköt ovat pääasiallisesti istutettuja. Reinikaisen (1997) mainitsemia Suomessa menestyviä tai kokeilunarvoisia *Larix*-suvun lajeja ovat siperianlehtikuusen ohella euroopan- (*Larix decidua*), japanin- (*L. kaempferi*), dahurian- (*L. gmelinii*), sekä kanadanlehtikuusi (*L. laricina*). Näiden lisäksi meillä kasvaa myös mm. hybridilehtikuusia, joita Silanderin ym. (2000, s.50) mukaan ovat *Larix x marschlinsii* (Henrinlehtikuusi), *L. decidua x L. sibirica*, *L. kaempferi x L. decidua*, *L. kaempferi x L. sibirica*, sekä *L. sibirica x L. decidua*.

Larix-suvun puut eivät ole meillä kovinkaan uusia tulokkaita. Hokajärven (1993) mukaan lehtikuusta on viljelty metsähallituksen mailla jo 1800-luvulta alkaen. Fagerstedt ym. (2016, s.72) mainitsevat siperianlehtikuusen olevan Suomessa pisimpään viljelty, samoin kuin meillä parhaiten menestyvä ulkomainen metsäpuu. Esimerkiksi Lapin sodan sotavuotena painetussa Maatalouden pikku jättiläisessä kuvataan taimitarhoilla tapahtuvaa taimituotantoa ja siperianlehtikuusi on mainittu teoksessa erikseen omine siemenkylvömäärineen (Simonen 1944, s.817). Siperianlehtikuusen kasvullisesta menestymisestä meillä kertonee myös, että se on erikseen mainittu Äijälän ym. (2014, s.26) Metsänhoidon suosituksissa taloudellisesti kasvatuskelpoisten kasvatettavien puulajien joukossa. Silanderin ym. (2000, s.4) tutkimuksessa euroopan- ja siperianlehtikuusen pituuskasvu ylitti jopa 20 prosenttia kotimaisten viljelykuusikoiden (*Picea abies* (L.) Karst.) keskimääräisen pituuskasvun vastaavalla metsätyypillä valtapituuden ollessa lehtikuusilla 70 vuoden

iässä 36 metriä. Silanderin ym. (2000, s.4) tutkimuksessa tarkasteltiin Metsäntutkimuslaitoksen (nykyisen Luonnonvarakeskuksen) tutkimusalueisiin pääasiassa 1920- ja 1930-luvuilla perustettuja, 1990-luvun lopulla mitattuja ulkomaisia havupuuviljelmiä.

Havupuille poikkeuksellisesta kausivihantaudesta kasvutavasta saattaa olla siperianlehtikuuselle etua esimerkiksi mäntyyn (*Pinus sylvestris* L.) ja kuuseen verrattuna. Larix-suvun edustajalla ei kulu ylläpitohengitystä talven vaurioittamien neulasten korjaamiseen toisin kuin metsissämme runsaina kasvavilla männyllä ja kuusella. Havupuilla yleisesti uudet neulaset yhteyttävät tehokkaammin kuin yhden tai kahden kasvukauden ikäiset. Kasvutavan ohella siperianlehtikuusen kasvupaikkavaatimukset eroavat kahdesta päähavupuulajistamme. Se menestyy ravinteikkailla kasvupaikoilla kuten lehtomaisilla kan-kailla, joiden vesitalous on kunnossa eikä veden seisomista esiinny. Valopuuna siperianlehtikuusi hyötyy avarasta kasvutavasta rauduskoivun (*Betula pendula*) tapaan. Äijälä ym. (2014, s.28) mainitsevat lehtikuusen vaativan runsaasti valoa, ja siksi sitä kasvatetaan väljemmässä kuin mäntyä ja kuusta. Viljellyn siperianlehtikuusimetsikön kasvun tarkkailusta pääsee nauttimaan useampikin sukupolvi, sillä Fagerstedtin ym. (2004) mukaan taimikot varttuvat tukkipuun kokoon Etelä-Suomessa 70-80 vuodessa.

Siperianlehtikuusen osuus maamme puulajikirjosta on pieni pinta-alana tai kuutiometreinä tarkasteltuna, huolimatta pitkästä historiasta kotimaamme puutuotannossa ja kasvullisesta menestymisestä metsissämme. Luonnonvarakeskuksen (2014, s.33) tilastotiedoissa Suomen maapinta-alasta metsätalousmaata on 86 prosenttia, eli 26,2 miljoonaa hehtaaria. Tästä 20,3 miljoonaa ha on Luonnonvarakeskuksen (2014, s.33) mukaan pääosin puuntuotantoon käytettävissä olevaa metsämaata. Viljeltyjä siperianlehtikuusimetsiköitä on maassamme yhteensä noin 30 000 ha (Fagerstedt ym. 2016, s.72). Valtakunnan Metsien Inventoinnin (VMI 10) tulosten mukaan puuston kuorellinen tilavuus metsä- ja kitumaalla puulajeittain oli yhteensä 2 206 miljoonaa kuutiometriä, mistä lehtikuusien osuus oli 0,6 miljoonaa m³ (Luonnonvarakeskus 2011, s.68).

Lehtikuusimetsiköiden pinta-ala on tuskin lähivuosina suuresti laajenemassa, sillä Luonnonvarakeskuksen (2014, s.125) mukaan vuonna 2013 istutukseen toimitettiin muita puulajeja (sis. hybridihaapa, siperianlehtikuusi, visakoivu ym.) yhteensä 0,56 miljoonaa tainta. Kaiken kaikkiaan vuoden 2013 aikana toimitettiin yhteensä 155,2 miljoonaa tainta (Luonnonvarakeskus 2014, s.125). Istutukseen toimitettujen muiden puulajien taimimää-

rän (mukaan lukien siperianlehtikuusi) trendi on ollut laskeva koko 2000-luvun. Ruokaviraston (2019a) mukaan rekisteröityjä siemenviljelyksiä vuoden 2018 lopussa oli yhteensä 144 viljelystä ja näiden pinta-ala hehtaareina yhteensä 2 215. Lehtikuusille oli kuusi siemenviljelystä ja 55 ha, kun esimerkiksi männylle oli 102 viljelystä ja 1 806 ha (Ruokavirasto 2019a).

Venäjällä lehtikuusta on kutsuttu pohjolan tammeksi (Martinsson ja Lesinski 2007, s.51). Tällä lisänimellä on kenties haluttu korostaa lehtikuusen puuaineen arvostusta. Ruotsalaisen (2018) mukaan Suomessa viljellyn siperianlehtikuusen aineisto pohjautuu vallitsevan käsityksen mukaan Karjalankannaksella kasvavaan 1700- ja 1800-luvuilla viljeltyyn Raivolan lehtikuusikkoon, mutta tämän todellisesta alkuperästä ei ole varmaa tietoa. Isomäen (1997, s.537) mukaan Raivolan lehtikuusimetsä perustettiin 1700-luvun alkupuolella ja puisto kuului ns. Laivanrakennusmetsien sarjaan. Isomäki (1997, s.537) jatkaa, että lehtikuusimetsällä haluttiin varmistaa Itämeren kautta Eurooppaan hamuavan Venäjän laivanrakennusmateriaalin saatavuus ja hyvä laatu. Tämä Pietari Suuren alullepanema laivanrakennusmetsien perustamistyö toteutettiin vasta hänen kuolemansa jälkeen (Isomäki, 1997 s.537). Redkon ja Mälkösen (2001, s.7) mukaan Raivolan lehtikuusimetsän perusti varsinaisesti Hänen Keisarillisen Majesteettinsa metsäasianhoitaja Ferdinand Gabriel Fockel vuosina 1738–1750.

Suomessa on kokeiltu myös muita lehtikuusialkuperiä, mutta Raivolan kanta on osoittautunut meillä hyvin kasvavaksi ja tuottavaksi. Kilpailevia kantoja ei ole juurikaan ilmennyt. Esimerkiksi Lukkarinen ym. (2011, s.82) toteavat, että venäläisessä koeaineistossa oli potentiaalisia alkuperiä, mutta harva niistä pystyi kuitenkaan haastamaan meillä käytössä olevaa siperianlehtikuusen Raivolan kantaa, kun huomioidaan samanaikaisesti sekä pituuskasvu että elävyys. Mikola (1993, s.30) on todennut, jos lehtikuusen viljelyyn halutaan saada jotakin nykyistä ”raivolanlehtikuusta” merkittävästi parempaa, kehittämisyhtymykset onkin ehkä syytä suunnata risteytysjalostukseen. Mikola (1993) tutki Hyvinkään Oitin siemenviljelyksellä sv16 vapaasti pölyttyneestä, emoklooneittain kerätystä siemenaineistosta silloisen Metsäntutkimuslaitoksen toimesta perustettua neljää erillistä jälkeläiskoesarjaa. Siperianlehtikuusen marginaalisuudesta johtuen sen risteytysjalostukseen ei kaiketi ole tehty suuria panostuksia. Lehtikuuselle käytettävissä olevien niukkojen resurssien takia jalostuspopulaatioiden uudistaminen tapahtuu yleensä vapaapölytysjälkeläistöjen avulla eikä risteyttämällä (Lepistö ja Napola 2005).

1.1.2 Puuaineen ominaispiirteitä

Siperianlehtikuusen puuaineen yksi arvostetuin ominaisuus liittyy sydänpuun lahonkestoon, mikä näkyy puuaineen valikoitumisessa kosteisiin käyttökohteisiin maa- ja vesirakentamisessa. Campbell ym. (2010, s.754) kuvailevat sydänpuun olevan yleensä tummempaa kuin mantopuun johtuen pihkasta ja muista soluonteloihin kyllästyneistä yhdisteistä. Yhdisteet auttavat suojaamaan puun sydänosaa sieniltä ja puuhun porautuvilta hyönteisiltä (Campbell ym. 2010, s.754). Siperianlehtikuusen sydänpuu on värillistä ja erottuu silmämääräisesti selvästi pinta- eli mantopuusta. Esimerkiksi kuusen sydänpuu on väritöntä. Näillä molemmilla havupuulajeilla sydänpuun kosteus on selvästi mantopuuta alhaisempi. Siperianlehtikuusella kapeana vyöhykkeenä oleva mantopuu on Fagerstedtin ym. (2004, s.56) mukaan kellanvalkoista ja sydänpuu punaruskeaa värin tummuessa ajan myötä. Sydänpuun värissä on havaittavissa vaihtelua. Martinsson ja Lesinski (2007, s.52) kuvailevat siperianlehtikuusen sydänpuun olevan punertavaa, vihertävää tai kellertävää. Tuimalan (1993, s.92) mukaan on oletettu, mitä tummempaa ja raskaampaa sydänpuu on, sitä enemmän siinä on lahotartuntoja estäviä uuteaineita.

Muiden puulajien tapaan lehtikuusen ytimen ympärille muodostuu vaihtelevan levyinen, normaalia puuainetta kevyempi ja hauraampi nuorpuuvyöhyke (Tuimala 1993, s.85). Jääskeläisen ja Sundqvistin (2007, s.14) mukaan nuorpuu on ksyleemin eli puuaineen osa, joka on noin 10-20 vuosiluston levyinen vyöhyke aivan ytimen ympärillä. Nuorpuun ydintä ympäröivät puusolut ovat lyhyempiä, niiden sekundääriseinät ovat ohuempia, solut ovat halkaisijaltaan pienempiä, kesäpuun määrä on alhaisempi ja mikrofibrillikulma on suurempi kuin muualla puuaineessa (Jääskeläinen ja Sundqvist 2007, s.56). Nuorpuu vaihtuu aikuispuuksi kasvun edetessä. Suurimmat muutokset nuorpuuvyöhykkeellä tapahtuvat Kärkkäisen mukaan (2007, s.298) mikrofibrillikulmassa, joka useilla puulajeilla vähintään puolittuu noin 15 vuoden aikana, ja kuitujen pituus voi havupuilla lähes kaksinkertaistua samassa ajassa.

Normaalissa kasvussa puulla on nuorpuussa paksut vuosirenkaat, mutta kesäpuuta muodostuu joka kasvukausi suurin piirtein saman verran. Kesäpuun suhteellisen määrän vähydestä johtuen ytimen ympäröimä nuorpuualue ei ole yhtä tiheää kuin ulompana rungossa muodostuvat aikuis- ja pintapuu. Nuorpuun mekaaniset ominaisuudet eroavat aikuispuusta, mikä tulee huomioida puuaineen käyttötarkoituksissa. Jääskeläinen ja Sund-

qvist (2007 s.57) luettelevat nuorpuun mekaanisten ominaisuuksien heikkouksia aikuispuuhun verrattuna olevan: alhaisempi jäykkyys (S2 mikrofibrillikulmasta johtuen), kimmomoduuli voi olla puolet pienempi (huono soveltuvuus kantaviin rakenteisiin), nuorpuusta tehdyt saheet muuttavat kuivatuksessa haitallisesti muotoaan, ja lisäksi taivutuslujuus ja -jäykkyys ovat alhaisempia. Kärkkäisen (2007, s.301) mukaan nuorpuu on vika käytettäessä puuta rakenteisiin, koska nuorpuulle tyypillinen suuri S2 mikrofibrillikulma alentaa kappaleen jäykkyyttä.

Jääskeläisen ja Sundqvistin (2007 s.32) mukaan puun vanhetessa pintapuun ominaisuudet muuttuvat, jolloin ytimen ympärille alkaa muodostua sydänpuuta ja tämän myötä puun uuteainepitoisuus, tiheys, kosteus ja vedenjohtokyky voivat muuttua. Mantopuu muuttuu sydänpuuksi elävien ydinsäteiden parenkymisolujen ja pitkittäisparenkymisolujen toiminnan tuloksena (Kärkkäinen 2007, s.116). Sydänpuussa kaikki solut ovat kuolleet perinnöllisten syiden vuoksi, eivätkä osallistu vedenkuljetukseen (Jääskeläinen ja Sundqvist 2007, s.14; Kärkkäinen 2007, s.116). Tällöin ajatellaan erityisesti ydinsäteiden parenkymisoluja ja mahdollisia pitkittäisparenkymisoluja, joiden kuoleminen varsinaisesti aiheuttaa sydänpuun muodostumisen puun käyttökäytännön kannalta (Kärkkäinen 2007, s.116). Muodostunut sydänpuu eroaa monin tavoin mantopuusta. Sydänpuun kemialliset ja mekaaniset ominaisuudet poikkeavat pintapuusta, ja tämän vuoksi pinta- ja sydänpuu käyttäytyvät poikkeavasti jalostusprosesseissa (Jääskeläinen ja Sundqvist 2007, s.35). Sahatavaran valmistuksessa on havaittu, että joidenkin puulajien sydänpuu on ominaisuuksiltaan kestävä, ja siten sen mittapysyvyys voi olla pintapuuta parempi (Jääskeläinen ja Sundqvist 2007, s.35).

Sydänpuun muodostumisessa tapahtuu uuteaineiden synteesi, eli tylppysolujen aineenvaihdunnan muutoksen seurauksena syntyvään sydänpuuhun muodostuu ja kertyy uuteaineita (Jääskeläinen ja Sundqvist 2007, s.33; Kärkkäinen 2007, s.117). Sydänpuun muodostumisessa entsymaattisen toiminnan myötä ydinsäteiden tylppysolut kuolevat ja tylppysolujen fysiologinen pihka muuttuu sydänpuupihkaksi (Jääskeläinen ja Sundqvist 2007, s.33). Sydänpuun muodostumisen yhteydessä tapahtuu aspiraatio, jossa rengashuokosten torus painautuu huokostiehyettä vasten. Torus ja margo puutuvat tukkien huokostiehyeen pysyvästi sekä estäen veden kulun soluonteloon. Muodostuneessa sydänpuussa aspiraatio on palautumaton muutos. Torus voi sulkea huokostiehyeen myös vesistressin aiheuttamana. Sydänpuun muodostuksesta poiketen huokostiehye voi palata aukinaiseksi

vesistressin helpottuessa. Aspiraatio yhdessä uuteaineiden kanssa vaikuttaa permeabiliteettiin ja veden läpäisy sydänpuuhun alentuu mantopuuhun verrattuna. Yleisesti ottaen solukkojen oletetaan olevan kuolleita myös lehtikuusen sydänpuussa. Martinsson ja Lesinski (2007, s.49) esittävät mielenkiintoisena väitteenä, että siperianlehtikuusen erikoisuutena olisi, että myös sydänpuussa olisi eläviä ydinsäteitä. Martinssonin ja Lesinskin (2007, s.49) mukaan tämä selittäisi miksi lehtikuusen iän karttuessa sydänpuun uuteainepitoisuudet jatkaisivat kohoamista.

Siperianlehtikuusilla sydänpuun muodostuminen alkaa nuorena. Tuimalan (1993, s.84) mukaan lehtikuusessa sydänpuuta alkaa muodostua jo 10–15 vuoden iässä. Martinsson ja Lesinski (2007, s.47) mainitsevat sydänpuun muodostuminen alkavan jo 5–6 vuoden iässä. Tuimalan (1993, s.84) mukaan männyn sydänpuunmuodostus alkaa Etelä-Suomessa yleensä vasta 25–30 vuoden iässä ja Lapissa myöhäisimmillään vasta 70-vuotiaana. Siperianlehtikuusessa sydänpuuta on puun ikääntyessä suhteellisen paljon. Kärkkäinen (2007, s.124) mainitsee, että Suomen olosuhteissa ehdottomasti suurin sydänpuunosuus on lehtikuusella ja nuorissa puissa sydänpuunosuus saattaa olla kolminkertainen mäntyyn verrattuna. Hakkila ja Winter (1973, s.36) ovat osoittaneet siperianlehtikuusella olevan 50 vuoden iällä keskimäärin 48 prosentin sydänpuunosuus tilavuudesta, kun männyllä tämä on 20 prosenttia. Vanhoissa siperianlehtikuusissa sydänpuun osuus saattaa olla jopa 80 prosenttia rungon tilavuudesta (Tuimala 1993, s.84). Martinssonin ja Lesinskin (2007, s.47) mukaan 100-vuotiaassa siperianlehtikuusessa kuorettoman puuaineen uloimmasta osasta yleensä 1–5 cm on mantopuuta ja sydänpuun osuus 80–90 prosenttia. Kärkkäisen (2007, s.121) mukaan lehtikuusilla sydänpuunosuus vähenee kauttaaltaan tyvestä latvaan päin ja siperianlehtikuusella likimain suoraviivaisesti.

Puun kasvunopeus vaikuttaa myös sydänpuun muodostumiseen ja sydänpuun suhteelliseen osuuteen rungossa. Kärkkäinen (2007, s.121) toteaa, että läpimitan ollessa sama, nopeakasvuisilla puilla sydänpuunosuus on pienempi kuin hidaskasvuisilla. Kärkkäinen (2007, s.121) jatkaa, toisaalta taas iän ollessa sama nopeakasvuisilla puilla sydänpuunosuus on suurempi kuin hidaskasvuisilla. Hakkilan ja Winterin (1973, s.21) mukaan siperianlehtikuusilla sydänpuunosuus on sitä suurempaa mitä nopeammin puun rinnankorkeusläpimitta on laajentunut tiettyyn ikään mennessä – esimerkiksi 20-vuotiaalla, jonka $d_{1.3} = 10$ cm, sydänpuunosuus oli 16 prosenttia, kun vastaavasti saman ikäisellä, jonka $d_{1.3} = 20$ cm, sydänpuunosuus oli 41 prosenttia.

Siperianlehtikuusen puuaine on raskaampaa kuin kahden päähavupuulajimme männyn ja kuusen. Kuiva-tuoretiheys on siperianlehtikuusella noin 490 kg m^{-3} , männyllä noin $420\text{--}430 \text{ kg m}^{-3}$ ja kuusella keskimäärin 380 kg m^{-3} (Fagerstedt ym. 2004, s.53-64; Kärkkäinen 2007, s.173). Tilavuuspaino suurenee ytimestä pintaan päin tarkasteltaessa. Lehtikuusen puuaineen kuiva-tuoretiheys on suurimmillaan puun tyvellä ja laskee tasaisesti latvaa kohden (Tuimala 1993, s.84). Kärkkäisen (1978) tutkimuksessa 100-vuotiaiden siperianlehtikuusien tiheyden maksimiarvo kannonkorkeudella oli yleensä 40–60 vuoden etäisyydellä ytimestä. Tuimalan (1993, s.85) julkaisussa tyveltä mitattujen siperianlehtikuusien kuiva-tuoretiheys oli 60-vuotiailla puilla 476 kg m^{-3} ja 100-vuotiailla puilla 539 kg m^{-3} .

1.1.3 Puuaineen luontainen lahonkestävyys

Siperianlehtikuusen puuaine sopii erinomaisesti vesi- ja maarakennukseen, silloiksi, kairospuuksi, ratapölkyiksi ja sitä käytetään laitureissa, vesijohdoissa, säiliöissä, junttapaa-luina, pylväinä (Fagerstedt ym. 2016, s.74; Tuimala 1993, s.79). Verkasalo ja Viitanen (2001, s.10) mainitsevat, että standardin EN 350-2 (1994) mukaan lehtikuusen sydänpuu luokitellaan samaan kestävyysryhmään kuin männyn sydänpuu, mutta siperianlehtikuusta ei ole standardissa mainittu erikseen (Taulukko 1). Vaikka siperianlehtikuusen sydänpuuta pidetäänkin yleisesti luontaisesti lahonkestävänä, niin esimerkiksi Fagerstedtin ym. (2016, s.74) mukaan joissakin lahotuskokeissa se on kuitenkin osoittautunut jopa männyn sydänpuuta heikommaksi. Viitanen (1997, s.117) mainitsee lehtikuusen sydänpuun kestävyys-
tävyyden olevan kutakuinkin männyn sydänpuun luokkaa, mutta tulokset vaihtelevat kummankin puulajin osalta hyvin laajasti. Polubojarinovin ym. (2000, s.353) mukaan samalla sydänpuun tiheydellä männyllä ja lehtikuusella on saman tasoinen lahonkesto, mutta saman ikäisissä puissa siperianlehtikuusen sydänpuuosuus on keskimäärin vähintään 30 prosenttia suurempi kuin männyllä.

Taulukko 1. Eräiden puulajien sydänpuun lahonkestävyys standardin EN 350-2 mukaan (1992), (Lähde: Viitanen 1997).

Luokka	Kestävyys	Esimerkkilajeja
1	Hyvin kestävä	Tiikki, iroko, afzelia, bilinga
2	Kestävä	Jättituija, amerikanmahonki, tammi
3	Kohtalaisesti kestävä	Mänty, lehtikuusi, douglaskuusi, hikkori, afrikanmahonki
4	Jonkin verran kestävä	Mänty, kuusi, hemlocki, kuusi
5	Ei kestävä	Koivu, leppä, haapa, pyökki, vaahtera

Siperianlehtikuusen manto- eli pintapuun lahonkesto-ominaisuudet poikkeavat sydänpuusta kuten männylläkin. MetINFO:n (2010) mukaan pintapuu saa herkästi väri- ja lahovikoja. Lehtikuusen mantopuun kestävyyttä ei useinkaan ole erikseen analysoitu, mutta se vaihtelee ja saattaa olla keskimäärin parempi kuin männyn mantopuun kestävyys (Verkasalo ja Viitanen 2001, s.8). Polubojarinovin ym. (2000, s.353) tutkimuksessa männyn ja lehtikuusen mantopuiden lahonkestävyys olivat yhtäläistä.

Merkittävimpänä tekijänä siperianlehtikuusen luontaisen lahonkeston taustalla ovat uuteaineet ja niiden pitoisuudet sydänpuussa. Puuaine rakentuu eri komponenteista ja tämän matriisin koostaa pääasiallisesti selluloosa, hemiselluloosat, ligniini, uuteaineet, ja epäorgaaniset aineet. Puun lahonkestävyys ja säilyvyysominaisuudet perustuvat puun solurakenteeseen, sen kemialliseen koostumukseen, etenkin puusolukkoon kertyneiden uuteaineiden määrään ja laatuun, mistä puun läpäisevyys (veden ja ilman pääsy puun solukoon), tiheys ja vastustuskyky eliöitä vastaan olennaisesti riippuvat (Viitanen 1997, s.116; Verkasalo ja Viitanen 2001, s.8). Kärkkäisen mukaan (2007, s.117) usein sydänpuuhun kertyvät aineet suojaavat lahottajasieniltä ja muilta organismeilta. Viitanen (1997, s.117) mukaan hyvin kestävässä tropiikin puulajeissa on monia jopa allergisia reaktioita aiheuttavia aineosia (fenoleja, alkaloideja, tanniineja) jotka tekevät niistä ankarissakin oloissa säilyviä.

Uuteaineet ovat moninaisten useiden tuhansien yksittäisten ja pääasiallisesti pienimolekyylisten yhdisteiden joukko, mitä on yleensä alle viisi prosenttia puun kuivapainosta (Stenius 2000, s.43; Jääskeläinen ja Sundqvist 2007, s.96). Laajan määrittelyn mukaan uuteaineet voidaan erottaa puusta neutraaleilla orgaanisilla liuotteilla uuttamalla, esimerkiksi dietyylillä, tolueenilla, asetoniinilla tai vain vedellä (Stenius 2000, s.43; Jääskeläinen ja Sundqvist 2007, s.16). Uuteaineita ei sijaitse yksistään sydänpuussa. Jääskeläisen ja Sundqvistin (2007, s.96) mukaan uuteaineita on erityisesti sydänpuussa, kuoressa, pihkatiehyeissä, sisäöksissä ja ydinsäteiden parenkymisoluissa. Sydänpuussa uuteaineita ovat fenoliset yhdisteet ja rasvahapot (Jääskeläinen ja Sundqvist 2007, s.96). Parenkyyman pihka muuttuu myös kemiallisesti sydänpuun muodostuessa ja tapahtuvat reaktiot ovat vastaavia kuin puun kuivauksessa, milloin pääasiallisena reaktiona sekä rasvat että muut esterit muodostavat hydrolyysissa vapaita rasvahappoja ja steroleja (Henriksson ym. 2009, s.158).

Lehtikuusi on puusuku, jolla pääasiallisena uuteaineena on vesiliukoinen arabinogalaktaani ja sitä voi olla sydänpuussa 5–35 prosenttia puun kuivaan massaansa nähden (Jääskeläinen ja Sundqvist 2007, s.75; Kärkkäinen 2007, s.118). Steniuksen (2000, s.52) mukaan arabinogalaktaani kuuluu rakenteellisesti hemiselluloosa-ainesosiin ja sen ei katsota olevan uuteaine. Hemiselluloosia on puussa noin 20–30 prosenttia ja ne sijaitsevat soluseinässä selluloosamikrofibrillien välissä, erottaen selluloosamikrofibrillit toisistaan (Jääskeläinen ja Sundqvist 2007, s.73-82). Lehtikuusissa oleva arabinogalaktaani poikkeaa muista matriisin materiaalina olevista hemiselluloosista siten, että se on solun ulkopuolinen ja se voidaan uuttaa sydänpuusta vedellä (Stenius 2000, s.38).

Siperianlehtikuusen uuteaineiden pitoisuudet vaihtelevat jonkin verran eri tutkimuksia tarkastellessa. Hakkilan ja Winterin (1973, s.45) tutkimuksessa havaittiin kuumaan veteen liukenevia uuteaineita olevan keskimäärin 9,3 prosenttia, mikä on huomattavasti enemmän kuin missään kotimaisessa puulajissa. Martinsson ja Lesinski (2007, s.52) mainitsevat siperianlehtikuusen toisen pääuuteaineen olevan arabinogalaktaanin lisäksi dihydromyrisetiini eli taksifoliini. Arabinogalaktaania on suhteellisesti huomattavasti enemmän puun kuivamassasta kuin asetoniuutteita. Hakkila ja Winter (1973, s.45) havaitsivat asetoniin liukenevien uuteaineiden osuuden olevan keskimäärin kaksi prosenttia, mikä on pienempi kuin männyllä mutta suurempi kuin kuusella. Viitasen ym. (1997) mukaan siperianlehtikuusen sydänpuun keskimääräinen hartsihappopitoisuus oli

vain 0,1 prosenttia (kuivapaino) verrattuna männyn sydänpuuhun, jossa hartsihappopitoisuus oli jopa 4,0 prosenttia. Jebrane ym. (2014) tutkimuksessa Siperialaisen siperianlehtikuusen uuteaineiden määrä oli keskimäärin 19,6 prosenttia (kuivapainosta) koostuen 4,7 prosenttia tolueeni-etanoli-liukoisista ja 14,9 prosenttia kuumaan veteen liukenevista uuteaineista.

Uuteaineiden pitoisuuksilla on selvä vaikutus lahonkesto-ominaisuuteen. Gierlingerin ym. (2003) alkuperäkokeessa päätelmä oli, että fenolien pitoisuutta voidaan pitää lupaa-vana muuttujana lahonkesto-ominaisuutta nopeasti arvioitaessa. Gierlingerin ym. (2003) raportoivat fenolipitoisuuksien korreloivan voimakkaasti lahonkeston kanssa jokaisella tutkitulla alkuperällä (*Larix decidua* var. *decidua*, *L. decidua* var. *sudetica*, *L. kaempferi*, *L. x eurolepis*). Myös Venäläisen ym. (2006) mukaan siperianlehtikuusen flavonoidi-sekä kokonisfenolipitoisuutta voidaan pitää välillisenä mittana lahonkestävyydelle, sillä korkeat pitoisuudet korreloivat merkitsevästi lahonkestävyyden kanssa. Jebranen ym. (2014) tutkimuksessa kemikaalianalyysit osoittivat kuumaan veteen liukenevien uuteai-neiden korreloivan merkittävästi sydänpuun lahonkeston kanssa, kun samalla männyn sy-dänpuun lahonkesto oli pääasiallisesti kytköksissä tolueeni-etanoli-liukoisiin uuteainei-siin. Arabinogalaktaani ei itsessään selitä lahonkesto-ominaisuutta. Venäläisen ym. (2006) tutkimuksessa arabinogalaktaanilla oli vähämerkityksellinen suhde lahonkeston kanssa. Gierlingerin ym. (2003) mukaan sydänpuussa olevan arabinogalaktaanin toimin-taa on tarkasteltu niukalti ja viittaavat mielenkiintoisesti Côté ym. 1966 päätelmään, että arabinogalaktaanin rooli lehtikuusissa jää täysin hämärän peittoon ja että Côté ym. olet-tivat sen olevan mahdollisesti kasvievoluution umpikujan tuotos.

Tiheyden kasvaessa siperianlehtikuusen sydänpuun lahonkeston voidaan olettaa parane-van, sillä uuteaineiden lisäksi tiheyden on havaittu korreloivan merkitsevästi luontaisen lahonkesto-ominaisuuden kanssa. Tämä ei selity yksinomaan kesäpuun suhteellisen osuu-den lisääntymisellä, vaikka kesäpuu on trakeidien soluseinän paksuudesta johtuen noin kolminkertaisesti tiheämpää kuin kevätpuu. Tärkeintä on uuteainepitoisuuksien muutos niin määrällisesti kuin laadullisesti.

Viitanen (1997) korostaa puun säilyvyyden riippuvan viimekädessä puusolukon rakenteesta ja siihen kertyneiden uuteaineiden määrästä ja laadusta. Korkeammat uuteainepitoisuudet lisäävät puuaineen tilavuuspainoa ja myös tästä syystä sydänpuu on mantopuuta raskaampaa. Tuimalan (1997, s.88) mukaan luontaisen lahonkestävyyden oletetaan havupuilla olevan yhteydessä puuaineen painoon, joka puolestaan riippuu kesäpuun osuudesta, jossain määrin vuosiluston leveydestä ja uuteaineiden runsaudesta ja iäkäs puu on sen mukaan kestävämpää kuin nuori. Viitasen ym. (1997) EN 113 menetelmällä toteutetussa tutkimuksessa havaittiin 25-vuotiaan siperianlehtikuusen puuaineen lahonkestävyyden olevan selvästi heikompaa kuin 70- tai 102-vuotiaiden.

Viitasen (1997) mukaan puumateriaalin perusominaisuudet muotoutuvat ensisijaisesti puun perintötekijöiden ja kasvuolojen ohjaamina jo metsässä puun kasvuvaiheessa. Siperianlehtikuusella luontainen lahonkesto vaikuttaa olevan periytyvä ominaisuus. Venäläisen ym. (2001) tutkimuksessa siperianlehtikuusen lahonkestävyys määräytyi voimakkaammin perinnöllisten tekijöiden kautta kuin esimerkiksi sydänpuun muodostuminen tai kasvuominaisuudet. Venäläisen ym. (2001) tutkimuksessa lahonkestävyys määräytyi heikommin kuin puun tiheys tai kesäpuun muodostuminen.

Kuten muillakin puulajeilla, myös siperianlehtikuusella metsiköiden välisten, metsikön sisäisten ja puun sisäisten ominaisuuksien vaihtelua on havaittavissa ja tämä koskee myös lahonkesto-ominaisuutta. Yksittäisen puulajin, ja jopa saman rungon puitteissa, lahonkestävyys vaihtelee hyvin laajasti (Viitanen 1997, s.117). Curnelin ym. (2008) mukaan puun sisäinen vaihtelu näyttäisi olevan merkittävä tekijä, sillä näytteen säteen suuntainen sijainti vaikuttaa merkittävästi puuaineen lahonkesto-ominaisuuteen. Uuteaineiden määrä kasvaa puun ikääntyessä ja vanhoissa siperianlehtikuusissa sydänpuun uloimmissa osissa on korkeammat uuteainepitoisuudet kuin esimerkiksi ydintä lähellä olevassa sydänpuualueessa. Osin tästä syystä nuorella iällä muodostuneen sydänpuun lahonkesto-ominaisuus on myöhemmin muodostunutta sydänpuuta heikompaa.

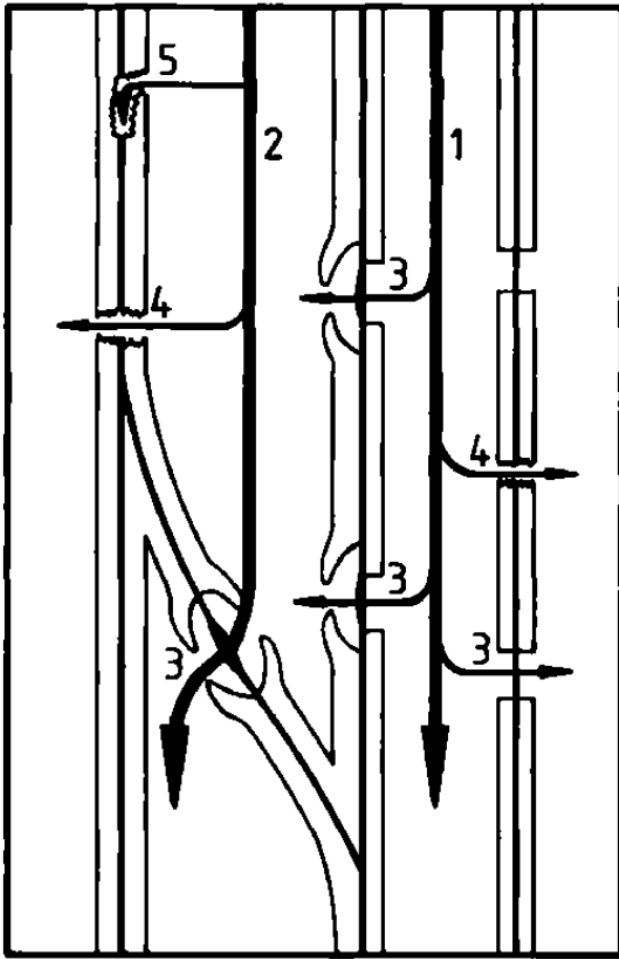
1.2 Laho

1.2.1 Puuaineen ominaisuuksien muuttuminen

Laholla tarkoitetaan lahottajasienen kemiallisesti tai fysikaalisesti muuttamaa puuta (Kärkkäinen 2007, s.324). Jääskeläisen ja Sundqvistin (2007, s.112) mukaan lahottajasienet voidaan jaotella niiden esiintymispaikan mukaan metsälahottajiksi, varastolahottajiksi sekä puurakenteiden lahottajiksi. Tässä tutkimuksessa käsitellään ensisijaisesti puutavaran lahoamista ja miten ainespuusta saatavien jalosteiden puuaineen ominaisuudet muuttuvat lahon tuhotessa puusolukkoa.

Jääskeläisen ja Sundqvistin (2007, s.112) mukaan lahottajasienet erittävät entsyymejä, jotka pystyvät tuhoamaan puun soluseinän komponentteja. Lahon kehittyminen ja eteneminen vaatii lämpöä, happea ja kosteutta. Nicholas ja Crawford (2003, s.295) kuvaavat sienirihmastojen kehittymisen ja puumatriisin valtaamisen (Kuva 1) tarvitsevan riittävästi helposti imeytyviä ravinteita, suosiollisen mikroilmaston sisältäen riittävän kosteustason ja kilpailijoiden puuttumisen. Sienten rihmat etenevät helpoiten trakeidien sekä putkisolujen lumenissa, jossa niitä ympäröi kaikkialla ravinnoksi soveltuva soluseinä (Jääskeläinen ja Sundqvist 2007, s.112). Rihmastot etenevät soluista toisiin huokosten tai soluseinän aukkojen välityksellä (Jääskeläinen ja Sundqvist 2007, s.112).

Viitasen (1997, s.119) mukaan laho kehittyy lähinnä vain silloin, kun ilman suhteellinen kosteus on hyvin pitkään yli 95 prosenttia ja puun kosteus lähellä puusyiden kyllästymispistettä, eli puun kosteus on noin 25–30 prosenttia. Puuaineen pH vaikuttaa sienien kasvuun ja yleisesti puuta hajottavat sienet kasvavat parhaiten pH:n ollessa 3–6, ja bakteerit sekä aktinobakteerit eli sädesienet pH:n ollessa enemmän neutraali (Nicholas ja Crawford 2003, s.291).



Kuva 1. Lahottajasienen rihmaston eteneminen ja kasvu lehtipuun soluseinässä. 1 soluontelo eli lumen, 2 lehtipuun putkisolu, 3 huokonen, 4 soluseinä, 5 välilamelli. Fengel ja Wegener (1989, s.374) ja Jääskeläinen ja Sundqvist (2007).

Jääskeläisen ja Sundqvistin (2007, s.112) mukaan lahottajasieniin kuuluu suuri määrä erilaisia sienityyppejä ja ne voidaan jaotella päätyyppien mukaan mm. rusko-, valko-, katko- ja sinertymälahottajiin. Kärkkäisen (2007, s.324) mukaan rusko- ja valkolahottajien kuuluvan kantasieniin (*Basidiomycetes*) ja katkolahottajien sieniryhmiin kuuluvan kotelosienet (*Ascomycetes*) ja vaillinnaissienet (*Deuteromycetes*). Ruskolahottajat hajottavat pääasiallisesti puun selluloosaa ja hemiselluloosaa, mutta myös ligniinissä tapahtuu tiettyjä muutoksia ja hajoamista (Fengel ja Wegener 1989, s.374). Nimensä mukaisesti ruskolahottajan hajottama puu muuttuu lahon edetessä ruskean väriseksi. Nicholasin ja Crawfordin (2003, s.291) mukaan ruskolahottajat suosivat happamampia olosuhteita kuin valkolahottajat, optimi pH:n ollessa noin 3. Fengel ja Wegener (1989, s.374) kuvaavat valkolahottajien hajottavan puun ligniiniä sekä selluloosaa ja hemiselluloosaa. Valkolahottajan

jäljiltä puu on vaaleaa. Fengelin ja Wegenerin (1989, s.374) mukaan katkolahottajat hajottavat sekä ligniiniä että holoselluloosaa. Kärkkäinen (2007, s.236) mainitsee katkolahottajien pystyvän toimimaan jopa kyllästetyssä puussa sekä ainoina lahottajina äärimmäisen kosteissa tai kuivissa oloissa. Nicholas ja Crawford (2003, s.290) toteavat, että yleisesti katkolahoa aiheuttavilla sienillä on parempi sietokyky mataliin happipitoisuuksiin kuin rusko- tai valkolahottajilla ja tästä syystä katkolaho voi lahottaa puuta, joka on veden kyllästämä.

Lahoa pidetään vikana, kun puulta edellytetään rakenteissa lujuutta, jolloin lahon aiheuttamien mekaanisten ominaisuuksien aleneminen on haitallista, estäen useissa tapauksissa puun käytön (Kärkkäinen 2007, s.327). Jo pienikin lahon aiheuttama massanhäviö vaikuttaa negatiivisesti puuaineen mekaanisiin ominaisuuksiin. Fengelin ja Wegenerin (1989, s.375) mukaan 5–10 prosentin kuivamassahäviö puuaineessa tarkoittaa lujuuden ja iskutaivutuslujuuden alenemista noin 60–80 prosentilla ja taivutuslujuuden voidaan olettaa alenevan 50–70 prosenttia. Laho vaikuttaa myös muihin mekaanisiin ominaisuuksiin. Kärkkäinen (2007, s.327) arvioi karkeasti, että massan vähentyessä lahon vuoksi 10 prosenttia, syitä vastaan kohtisuora puristuslujuus alenee 60 prosenttia, syiden suuntainen puristuslujuus 40 prosenttia, vetolujuus 40 prosenttia, vetolujuus syiden suunnassa 50–60 prosenttia ja kovuus ja leikkauslujuus ehkä 20 prosenttia.

1.2.2 Luontaisen lahonkeston tutkiminen

Laho on merkittävä puutavaran ominaisuuksien pilaaja. Laboratorio-olosuhteissa toteutetuilla sekä ulkona säärasituksessa ja maakosketuksessa tapahtuvilla kenttäkokeilla (Taulukko 2) voidaan tutkia lahottajatyyprien vaikutusta puutavaraan sekä puuaineiden vastustuskykyä lahottajia vastaan. Puulajien luontainen kestävyys on luokiteltu standardissa EN 350-2, mikä perustuu ankarissa rasitusoloissa (maakosketus, altistuskokeet lahottajasieniä ja hyönteisiä vastaan) saatuihin tuloksiin (Viitanen 2008). Laboratorio- ja kenttäkokeiden minimikoeajat eroavat toisistaan. Kenttäkokeet ovat yleisesti pitkäkestoisia, usein vuosien pituisia. Laboratoriokokeet ovat huomattavasti lyhytaikaisempia, mutta nekin kestävät useita viikkoja.

Taulukko 2. Standardoituja menetelmiä puun kestävyuden määrittämiseksi.

Standardi ⁽¹⁾	Menetelmä	Kuvaus menetelmästä ⁽¹⁾	Kesto
EN 252	Kenttäkoe/ maakosketus	Field test method for determining the relative protective effectiveness of a wood preservative in ground contact.	> 5 v
EN 330	Kenttäkoe/ maasta irti	Wood preservatives. Determination of the relative protective effectiveness of a wood preservative for use under a coating and exposed out-of-ground contact. Field test: L-joint method.	> 5 v
CEN/TS 12037	Kenttäkoe/ maasta irti	Wood preservatives. Field test method for determining the relative protective effectiveness of a wood preservative exposed out of ground contact. Horizontal lap-joint method.	> 5 v
EN 113	Laboratoriokoe	Wood preservatives. Test method for determining the protective effectiveness against wood destroying basidiomycetes. Determination of the toxic values.	> 16 vko
ENV 807	Laboratoriokoe	Wood preservatives. Determination of the effectiveness against soft rotting micro-fungi and other soil inhabiting micro-organisms.	> 32 vko

¹⁾ Suomen Standardisoimisliitto SFS ry 2018.

Råbergin ym. (2005) mukaan puuaineen luontaista kestävyyttä määritetään Eurooppalaisilla standardeilla EN 252 (koekappaleet maakosketuksessa) ja EN 113 (kantasienet laboratoriossa). Råberg ym. (2005) jatkavat, ettei käsittelemättömälle puuaineelle olisi irti maasta tehtäviä kenttäkoestandardeja. EN 252 ja EN 113-standardit ovat yleisesti käytössä puuaineen lahonkestoa määritettäessä. Viitasen (1997, s.119) mukaan laboratorioissa puun lahonkestävyyttä mitataan usein standardin EN 113 mukaan. Menetelmä on Viitasen (1997, s.119) mukaan kehitetty lähinnä kyllästeiden tehokkuuden määrittämiseen ja se on sellaisenaan vaativa menetelmä. Venäläinen ym. (2006) mainitsevat standardin EN 113 olevan laajalti sovellettu testattaessa standardin EN 350-1 mukaista käsittelemättömän puuaineen luontaista lahonkestoa. Maasta irti toteutettuja kenttäkokeita varten on valmiina standardeina CEN 12037 ja EN 330, joita käytetään käsitellyn puun lahonkeston määrittämiseksi (Råberg ym. 2005). Eurooppalaisten standardien lisäksi on myös muita standardeja, esimerkiksi Yhdysvaltalaisen puunsuojausyhdistyksen American Wood Protection Association AWPA -standardeja. Standardisoitujen laboratorio- ja

kenttäkokeiden lisäksi käytössä on muita puuaineen hajoamista seuraavia koejärjestyitä. Meyerin ym. (2014) mukaan kenttäkokeina tehtäviä maasta irti toteutettavia lahotuskokeita on useita kymmeniä, mutta vain muutamia on standardisoitu.

Laboratoriokokeissa puutavaran koekappaleisiin ympätään lahottajasienien rihmastoja. Kirjallisuudessa mainitaan käytettävänä sieninä *Coniophora cerebella*, *C. puteana*, *Gloeophyllum trabeum*, *Rhondia placenta* (ent. *Poria placenta*, *Postia p.*), *Merulius lacrymans* ja *Trametes versicolor* (Polubojarinov ym. 2000; Venäläinen ym. 2001; Robert ym. 2005; Metsä-Kortelainen ja Viitanen 2009; Jebrane ym. 2014). Ulkoilmassa koekentillä tapahtuvissa pitkäaikaisissa lahotuskokeissa lahottajat valikoituvat ympäristöstä. Nicholasin ja Crawfordin (2003, s.306) mukaan ei ole selvää, miksi jotkin maaperät ovat suosiollisempia ruskolahottajille toisten ollessa suosiollisempia valkolahottajille ja puutarhakompostien ollessa katkolahottajille, mutta tämä on varmasti kytköksissä maaperän kemiallisiin ja fyysisiin ominaisuuksiin. Ilmastollisten tekijöiden ja maaperän ominaisuuksien eroavaisuuksista johtuen kenttäkokeiden tuloksia ei voida aina yleistää laajalle maantieteelliselle alueelle.

Sekä ulkona säärasituksessa että laboratorio-olosuhteissa toteutettuihin lahonkeston määrittämisen menetelmiin liittyy tulosten verkkainen valmistuminen. Kenttäkokeissa puhutaan vuosien viiveestä kokeen aloituksesta ja laboratoriokokeissa muutamista kuukausista. Viitanen (1997, s.119) viittaa EN 113-standardin laboratoriokokeeseen mainitessaan testaamisen ongelmana olevan kuitenkin aina se, että tulokset tulisi saada kohtuullisessa ajassa. Myös Venäläinen ym. (2006) mainitsevat EN 113-standardin mukaan toteutetun lahotuskokeen johtopäätöksessä kaikkien perinteisten kemiallisten analyysien olevan liian työläitä ja liian hitaita puun lahoasteen määrittämiseksi teollisessa mittakavassa.

1.3 Tutkimuksen tavoitteet

Entisen Metsäntutkimuslaitoksen (Metla), nykyisen Luonnonvarakeskuksen (Luke) Punkaharjun toimipaikalla Savonlinnassa on tehty kenttäkoe, jossa tutkittiin suomalaiselta siemenviljelykseltä harvennettujen siperianlehtikuusien lahonkestävyyttä. Kenttäkoe toteutettiin EN 252-standardin mukaisena maalahotuskokeena. Koe on päättynyt ja se kesti yhtäjaksoisesti 19 vuotta. Kokeen pääaineisto koostui 25-vuotiaista siperianlehtikuusiklooneista. Siemenviljelyksellä kasvaneiden kloonien alkuperäisten kantapuiden metsiköt olivat tiedossa. Kokeessa oli mukana vertailuaineistona kuusta ja mäntyä sekä vanhempaa tiheäsyistä siperianlehtikuusta. Tässä pro gradu -tutkielmassa syvennettiin tämän pitkäaikaisen maalahotuskokeen aineistoon ja selvitettiin 25-vuotiaiden siperianlehtikuusien luontaista lahonkesto.

Työtä ohjaavina tutkimuskysymyksinä olivat:

- Millainen lahonkesto-ominaisuus 25-vuotiaan siperianlehtikuusen sydänpuulla maalahotuskokeen perusteella ja miten lahonkesto-ominaisuus eroaa vertailuaineistosta?
- Onko 25-vuotiaan siperianlehtikuusen lahonkesto-ominaisuudessa havaittavissa kloonien välistä eroavuutta?
- Voidaanko 25-vuotiaan siperianlehtikuusen kloonien lahonkesto-ominaisuuksissa havaita eroa, jos klooneja tarkastellaan kantapuumetsikkötasolla?

2. AINEISTO JA MENETELMÄT

2.1 Toteutettu maalahotuskoe

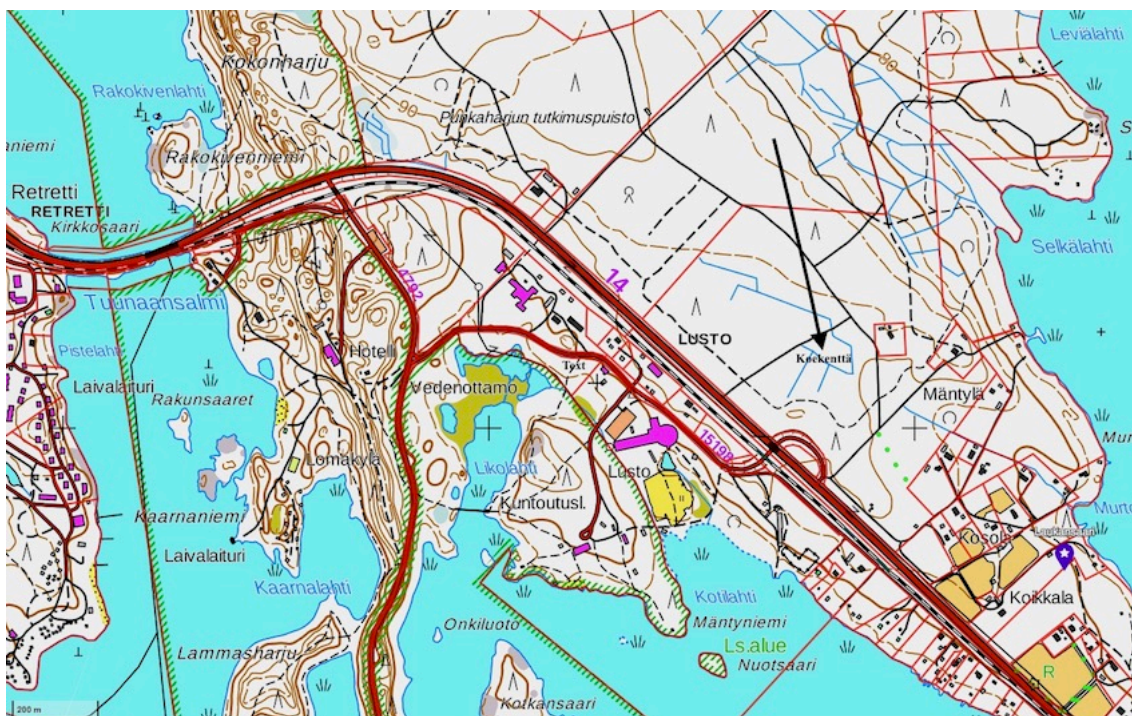
Luonnonvarakeskuksen Punkaharjun toimipisteellä on toteutettu maalahotuskoe EN 252-standardin mukaisesti (Kuva 2). Kyseessä on kenttäkoe, jonka standardin vaatima kesto on vähintään viisi vuotta. Toteutettu koe suoritettiin vuosien 1996–2015 aikana. Kokeen alullepanija oli metsänhoitaja Aili Tuimala ja pääasiallisena tarkoituksena oli selvittää 25-vuotiaan siperianlehtikuusen luontaista lahonkesto.

EN 252-standardin mukaisen kenttäkokeen ensisijainen tavoite on arvioida puunkyllästysaineen tehokkuutta referenssikyllästeeseen altistamalla koekappaleet jatkuvakestoille maakosketukselle. Koemenetelmä soveltuu hyvin myös tutkittaessa käsittelemättömän puuaineen kestoja maakosketuksessa. Punkaharjulla toteutetussa maalahotuskokeessa oli mukana siperianlehtikuusen, männyn ja kuusen käsittelemätöntä puuainetta.



Kuva 2. Siperianlehtikuusen maalahotuskoe käynnissä Punkaharjulla. Kuva: Martti Venäläinen.

EN 252-standardin mukaan yksi koekenttä riittää, mutta koe voidaan toteuttaa myös useammalla alueella esimerkiksi eri ilmasto-olosuhteissa tai erilaisilla maannoksilla. Tämän tutkimuksen koe toteutettiin yhdellä koekentällä. Se perustettiin Laukansaarelle (Kuva 3), joka sijaitsee Punkaharjulla Etelä-Savon maakunnassa. Etelä-Savo on Ilmatieteenlaitoksen (2013) mukaan Suomen vesistöisin maakunta, minkä ilmastoon järvet vaikuttavat huomattavasti. Laukansaari on topografialtaan vesistön ympäröivää aluetta. Etelä-Savossa on runsaasti lämmittäviä vesistöjä, minkä takia hallaöitä ei tyypillisesti heinäkuussa esiinny, ja kesä- ja elokuussakin hallaa mitataan tyypillisesti vain muutamana yönä (Ilmatieteenlaitos 2013).



Kuva 3. Musta nuoli kartalla osoittaa koekentän sijainnin Laukansaarella Punkaharjulla.

Koealueen lähistöllä sijaitsee ilmatieteenlaitoksen havaintoasema nro 101441 (Ilmatieteenlaitos 2018). Aseman mittaamat lämpötila- ja sadantatiedot olivat saatavilla koko maalahotuskokeen ajalta. Tehollinen lämpösumma ($^{\circ}\text{C}$ vrk) oli vuosien 1997-2014 aikana keskimäärin 1 422 astevuorokautta (keskihajonta 113 astevuorokautta) ja vuotuinen sadanta keskimäärin 603 mm (keskihajonta 95 mm).

EN 252-standardi asettaa tiettyjä vaatimuksia käytettävälle koekentälle. Esimerkiksi maaperän vesitalouden tulee olla kunnossa eikä vetisiä tai kuivia ääripäitä tule käyttää. Tämä huomioitiin selvittämällä etukäteen mahdolliset vedenseisomat, jotta tällaiset kohdat voitiin rajata koekentän ulkopuolelle. Koekentän maannostyyppiä ei määritelty. Koekentän perustamistyöt tehtiin toukokuussa 1996. Tuleva koekenttä tasattiin ja varmistettiin, että alue olisi vain ruohopeitteinen poistamalla mahdolliset vesakot ja taimet. Maalahotuskokeen seuranta vaati kentällä liikkumista ja ruohopeitteinen alue oli helppo pitää siistinä sekä kokeelle turvallisena. Alue suojattiin ulkopuoliselta toiminnalta rakentamalla koekentän ympärille hirviaita lukittavalla portilla varustettuna.

Koekentän pinnan valmistus sekä aitauksen pystytys valmistuivat vuoden 1996 kevään ja kesän aikana. Kenttäkoe aloitettiin lauantaina 14.9.1996 asentamalla koekappaleet koekentälle suoriin riveihin. Koe päätettiin viimeisten mittausten jälkeen koekappaleiden poistolla perjantaina 3.6.2015.

2.1.1 Maalahotuskokeen aineisto

Maalahotuskokeessa käytetyt havupuulajit olivat (Taulukko 3) siperianlehtikuusi, mänty ja kuusi. Siperianlehtikuusiaineisto jakautui kahteen eri ryhmään; 25-vuotiaisiin (rinnan- korkeusläpimitaltaan nopeasti kasvaneisiin) ja vanhempiin tiheän puuaineen omaaviin puihin. 25-vuotiaat siperianlehtikuuset olivat peräisin kahdelta eri alueelta. Suurin osa (n=297) oli peräisin silloisen Enso-Gutzeit Oy:n Imatran Neitsytniemen siemenviljelyksen 356 harvennushakkuusta. Näiden harvennettujen siperianlehtikuusien tiedot oli dokumentoitu laajasti. Neitsytniemeltä tuli lisäksi vielä muutama (n=8) siperianlehtikuusi, mutta näille rungoille ei ollut laajoja lähtötietoja. Pieni osa 25-vuotiaista siperianlehtikuusista tuli Neuvolasta (n=9). Vanhemmat tiheän puuaineen siperianlehtikuuset tulivat Punkaharjulta (n=19). Männyt (n=16) ja kuuset (n=18) olivat myös peräisin Punkaharjulta.

Taulukko 3. Maalahotuskokeessa käytettyjen puulajien kasvupaikka, vuosilustojen leveys sekä koekappaleiden lukumäärä.

Puulaji	Kasvupaikka	Vuosilustot	n
<i>Larix sibirica</i>	Neitsytniemi sv356	leveät	297
<i>Larix sibirica</i>	Neuvola	-	9
<i>Larix sibirica</i>	Punkaharju	kapeat	19
<i>Larix sibirica</i>	Neitsytniemi sv356		8
<i>Picea abies</i>	Punkaharju	-	18
<i>Pinus sylvestris</i>	Punkaharju	-	16
Tiedot epäselvät	-	-	10
		yht.	377

- tieto puuttuu

Neitsytniemen siemenviljelyksen sv356 omistaa Tapio Palvelut Oy (Ruokavirasto 2019b). Siemenviljelyksen alueen koko on 21 hehtaaria ja kasvatettavia klooneja on 25 (Ruokavirasto 2019b). Neitsytniemen siemenviljelys sv356 on perustettu siementaimilla vuonna 1971 ja klooni -tieto ilmoittaa emopuukloonin, josta taimet ovat peräisin (Ruotsalainen 2018; Ruokavirasto 2019b). Kloonien alkuperäiset kantapuut kasvavat Lapinjärvellä, Punkaharjulla ja Ähtärissä. Siemenet siemenviljelykselle sv356 on kerätty vapaasti pölyttävältä siemenviljelykseltä sv16 (Martti Venäläinen, suullinen tiedonanto 2018). Lakkautettu siemenviljelys sv16 sijaitsi Oitissa ja sen omisti Tapio (Ruokavirasto 2019b). Ruotsalaisen (2018) mukaan Neitsytniemen siemenviljelys sv356 perustuu täysin Raivolan viljelykantaan. Toteutettuun maalahotuskokeeseen valikoitui mukaan siemenviljelyksen sv356 jokaista 25 kloonista (Taulukko 4).

Taulukko 4. Maalahotuskokeessa olleet kloonit ja näiden kantapuiden alkuperäiset kasvupaikat.

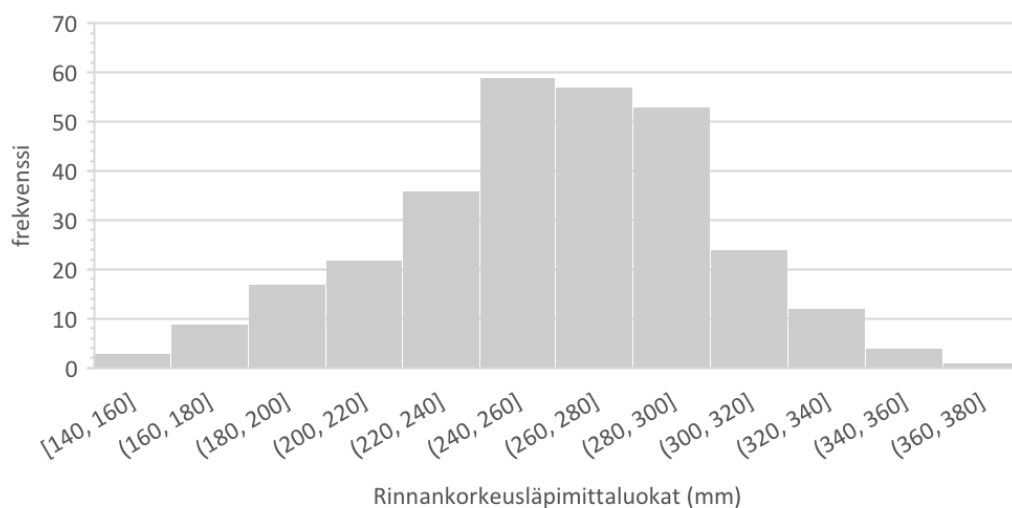
Klooni	n	Kantapuun alkuperäinen kasvupaikka ⁽¹⁾	Viljelykanta ⁽²⁾
E756	12	Lapinjärvi	Raivola
E757	12	Lapinjärvi	Raivola
E759	13	Lapinjärvi	Raivola
E763	12	Lapinjärvi	Raivola
E1036	13	Punkaharju	Raivola
E1037	14	Punkaharju	Raivola
E1038	13	Punkaharju	Raivola
E404	12	Punkaharju	Raivola
E408	9	Punkaharju	Raivola
E409	12	Punkaharju	Raivola
E652	11	Punkaharju	Raivola
E653	12	Punkaharju	Raivola
E654	11	Punkaharju	Raivola
K301	12	Ähtäri	Raivola
K302	13	Ähtäri	Raivola
K303	12	Ähtäri	Raivola
K304	11	Ähtäri	Raivola
K305	12	Ähtäri	Raivola
K306	12	Ähtäri	Raivola
K307	10	Ähtäri	Raivola
K308	12	Ähtäri	Raivola
K309	11	Ähtäri	Raivola
K310	12	Ähtäri	Raivola
K311	12	Ähtäri	Raivola
K312	12	Ähtäri	Raivola
yht.	305		

¹⁾ Martti Venäläinen, suullinen tiedonanto

²⁾ Ruotsalainen 2018

Siemenviljelyksen sv356 kasvatustiheys on 102 vartetta ha⁻¹ (Ruokavirasto 2019b). Taimien istutusvälillä on vaikutusta puiden kasvuun. Kärkkäisen (2007, s.74) mukaan puuston tiheys vaikuttaa voimakkaasti puiden paksuuskasvuun, mutta ei juuri pituuskasvuun. Kärkkäinen (2007, s.74) jatkaa, että suunnilleen tasakokoisten puiden pituuskasvu ei riipu metsän tiheydestä ellei se ole aivan poikkeuksellisen alhainen tai hyvin suuri ja ilmiö koskee mahdollisesti valopuulajeja esimerkiksi koivua ja mäntyä. Maalahotuskokeessa käytettyjen puiden pituuksia ei oltu mitattu, joten istutusvälin vaikutusta kloonien pituuskasvuun eikä rinnankorkeusläpimitan kehittymiseen ei voitu arvioida. Siemenviljelys on oletettavasti toistuvasti lannoitettu (Marti Venäläinen, suullinen tiedonanto 2019). Lannoituksen osuutta puiden kasvuun ei tutkittu.

Neitsytniemen siemenviljelys sv356 harvennettiin vuoden 1993 aikana. Harvennetuista rungoista maalahotuskokeeseen otettiin yhteensä 293 eri puuyksilöä. Näistä oli mitattu joulukuun 1993 aikana muun muassa rinnankorkeusläpimitta $d_{1.3}$ (Kuva 4) sekä elävän latvuksen raja. Neljästä puuyksilöstä tehtiin myös toinen koekappale esimerkiksi rungon kaksiahaaraisuudesta johtuen. Harvennetut puut olivat noin 25 vuoden ikäisiä, olettaen että taimet oli istutettu vuonna 1991 siemenviljelystä perustettaessa 2–3 vuoden ikäisinä. Neitsytniemeltä tulleiden kahdeksan puun tiedot ovat puutteelliset, eikä esimerkiksi kloonitunnukset tai rinnankorkeusläpimittoja ollut käytettävissä.



Kuva 4. Histogrammi Neitsytniemen siemenviljelykseltä 356 harvennettujen (n=293) maalahotuskokeessa käytettyjen siperianlehtikuusien rinnankorkeusläpimittajakaumasta.

Neuvolasta (n=9) tulleiden 25-vuotiaiden ja Punkaharjulta (n=19) tulleiden vanhempien ja tiheäsyisempien siperianlehtikuusien osalta esimerkiksi ikää, rinnankorkeuslöpimittaa tms. tietoja ei ollut käytettävissä. Mäntyjen ja kuusien iästä, kasvutavasta, rinnankorkeuslöpimitasta tms. ei ollut ylös kirjattua tietoa.

Kymmenen koekappaleen tiedot oli kirjattu puutteellisesti, esimerkiksi antamalla kahdelle koekappaleelle sama numero. Tästä syystä näistä kymmenestä koekappaleesta ei voinut erottaa varmuudella puulajia tai kasvupaikkaa. Kolme kuusinäytettä ja kolme mäntynäytettä oli sekoitettavissa toisiinsa. Neljän lehtikuusen osalta oli epäselvää olivatko ne Imatralta, Punkaharjulta vai Neuvolasta. Epäselvillä koekappaleilla saattoi olla vaikutusta tulosten analysointiin, sillä jokaista koekappaletta ja verrokkia on EN 252-standardin mukaan oltava vähintään kymmenen kutakin. Virheellisestä numeroinnista johtunut yksilöinnin epävarmuus johti siihen, että Neuvolan 25-vuotiaiden lehtikuusien määrä jäi yhdeksään.

2.1.2 Maalahotuskokeen koekappaleet eli latat

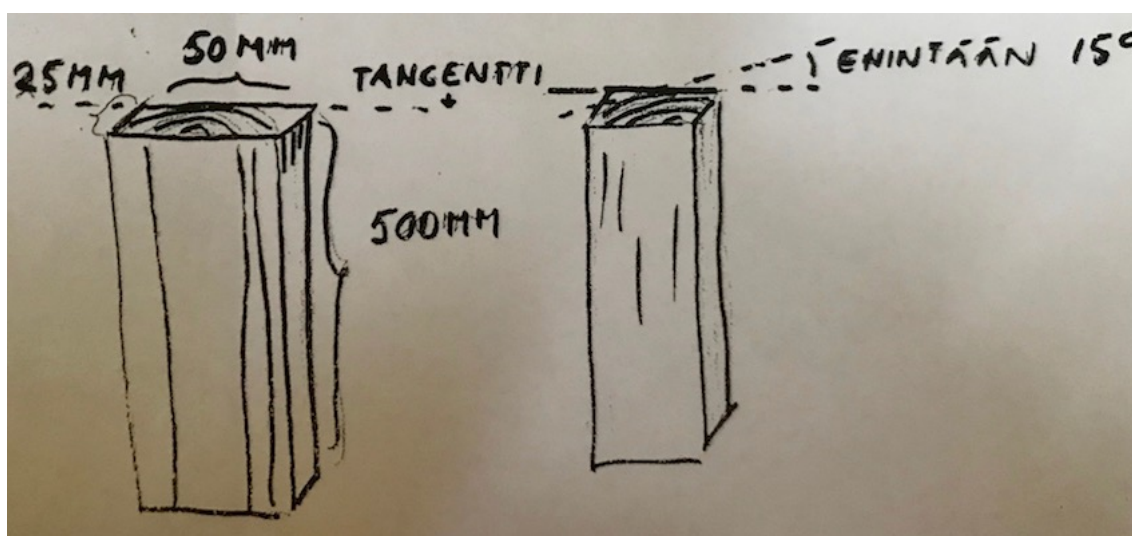
Standardin EN 252 mukaan maalahotuskokeessa käytettävän puuaineen tulee olla yhtäläisesti kasvanutta, suorasyistä, eikä siinä saa olla silmuja, halkeamia, värivikaa, lahoa, hyönteisien koloja tai muita näkyviä vikoja. Maalahotuskokeessa käytettyjen koekappaleiden valmistus aloitettiin sahaamalla kokeeseen valikoiduista rungoista lankut. Saheet läpikäytiin silmämääräisesti vuoden 1995 loppupuolella ja niistä tarkistettiin puuaineessa näkyvät virheet, joilla oli vaikutusta lattojen valmistukseen (Taulukko 5). Virheellisiä lankkuja oli 87 kappaletta, mikä on 29,3 prosenttia näytepuiden kokonaismäärästä. Eniten esiintyi sinistymää, jota oli 42 lankussa.

Sinistyminen ei suoranaisesti vaikuta puun lahonarkuuteen, mutta mekaanisiin ominaisuuksiin se voi vaikuttaa. Kärkkäisen (2007, s.321) mukaan, kun sinistäjäsiementen vaikutus soluseinänsä on vähäinen, puun mekaaninen lujuus ei ole olennaisesti vähäisempi kuin terveen puun. Kärkkäinen (2007, s.321) jatkaa, sekä männyllä että kuusella on havaittu, että staattiset lujuusominaisuudet alenevat sinistymän vaikutuksesta vain muutamia prosentteja, mutta kaikille käsittelyille herkkä iskutaivutuslujuus voi alentua 5 prosenttia. Saattaa olla, että sinistäjäsiementen kuluttamien uuteaineiden pitoisuuden aleneminen on merkittävä tämän lujuusominaisuuden kannalta (Kärkkäinen 2007, s.321).

Taulukko 5. Neitsytneimen siemenviljelykseltä 356 koepuista sahatuista lankuista silmämääräisesti määritellyt erilaiset viat ja viallisten lankkujen lukumäärä.

Määritelty vikaisuus	n	%
Virheetön	210	70,7
Sinistymää	42	14,1
Halkeama ytimessä	14	4,7
Veden aiheuttama värivika	12	4,0
Hometta pintapuussa	6	2,0
Hyönteisen reikiä	2	0,7
Mutka	2	0,7
Pihkoittunut	2	0,7
Mahdollisesti hometta	1	0,3
Oksainen	1	0,3
Syiden mutkaisuus	1	0,3
Ei tietoa	4	1,3
yht.	297	100,0

Standardin EN 252 mukaisten koekappaleiden eli lattojen mitat ovat 500 (± 1) x 50 ($\pm 0,3$) x 25 ($\pm 0,3$) mm kosteuspuitoisuuden ollessa 14 prosenttia (± 2 %). Tarkistetuista lankuista sahattiin vannesahalla lattojen aihiot vastaamaan standardin mitta- ja laatuvaatimuksia huomioimalla aiemmin havaitut viat. Aihiot sahattiin siten, että 5 cm:n päädyssä oli enintään 15 asteen poikkeama tangentista (Kuva 5).



Kuva 5. Aili Tuimalan 12.2.1996 antama ohjeistus lattojen sahaamiseksi

Lattojen aihioita sahattaessa kiinnitettiin huomiota myös syiden suoruuteen pitkittäis-suunnassa. Aihioden mitoissa oli huomioitu kuivauksen vaatima kutistumisvara (leveys 1 % ja paksuus 3 %) sekä kuivauksen jälkeen tehtävän höyläyksen vara. Lisäksi pituuteen jätettiin 10 cm ylimääräistä tiheyskoekappaleiden ottoa varten. Lattojen oksattomuus huomioitiin jättämällä aihioden keskikohdalle vähintään 15–20 cm oksaton alue. Lattojen aihiot pyrittiin sahaamaan siten että koko latta saataisiin tehdyksi sydänpuusta mutta mahdollisimman kaukana ytimeistä. Ydintä lähinnä on nuorpuuta. Nuorpuualueella tra-keidien sekundaariseinämän keskikerroksen mikrofibrillikulma on suuri verrattuna aikuispuuhun vaikuttaen esimerkiksi puun kutistumis- ja paisuntaominaisuuksiin sekä lujuuteen (Kärkkäinen 2007, s.109). Latta valittiin ytimen siltä puolen, joka täytti parhaiten standardin EN 252 kriteerit ja rungon vastakkainen puoli valikoitui kaksoiskappaleeksi. Latvapuolta seurattiin koko ajan ja se oli merkittynä lankkuihin, aihioihin ja lattoihin.

Lankkujen sahaamisen jälkeen lattojen aihiot siirrettiin karistamoon kuivumaan. Aihiot punnittiin ennen kuivumista ja kuivumisen jälkeen. Aihioden kuivuttua riittävästi ne höylättiin standardin vaatimiin nimellismittoihin, huomioiden että keskikohtaan jäisi mahdollisimman paljon oksatonta aluetta. Koekappaleiden numerot merkittiin metallinauhalle Dymo-laitteella ja tämä numerotunnus kiinnitettiin kahdella metallisella ruuvilla latan latvapäähän. Koekappaleet punnittiin ilman metallinumeroa sekä sen kanssa.

Kun höyläys, numerointi ja punnitukset oli tehty latat vietiin koekentälle ja maalahoitus-koe aloitettiin. Latat (n=377) laitettiin maahan satunnaisessa järjestyksessä yhteensä 32 riviin ja 12 sarakkeeseen (Kuva 6 ja Taulukko 6). Kaksi viimeistä saraketta jäivät vajaksi. Latat upotettiin maahan 25 cm syvyyteen standardia noudattaen. Ylimääräistä me-kaanista rasitusta välttämällä lattoja ei painettu suoraan maahan, vaan niille valmisteltiin paikat rautakangen avulla. EN 252-standardin vaatima vähimmäisetäisyys koekappaleille toisistaan on 30 cm. Latat sijoitettiin koekentälle noin 60 x 60 cm väliselle etäisyydelle toisistaan. Käytetty etäisyys mahdollisti helpon liikkumisen alueella mittausten teke-miseksi, sekä koekentän ruohikon pitämisen siistinä ruohonleikkurin avulla.

Taulukko 6. Koekentälle asennettujen lattojen värikoodien merkitys.

Puulaji	Kasvupaikka	Klooni tiedossa	n
<i>Larix sibirica</i>	Neitsytniemi	kyllä	297
<i>Larix sibirica</i>	Neitsytniemi	ei	8
<i>Larix sibirica</i>	Neuvola	ei	9
<i>Larix sibirica</i>	Punkaharju	ei	19
<i>Picea abies</i>	Punkaharju	ei	18
<i>Pinus sylvestris</i>	Punkaharju	ei	16
Tiedot epäselvät	Tiedot epäselvät	ei	10
		yht.	377

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1	12.31	10.8	12.37	17.43	62.65	22.54	18.48	24.61	<u>129.8</u>	12.52	62.15	12.17.2	1
2	13.65	5.67	4.24	7.20	13.27	12.16	5.5	8.3	<u>129.7</u>	<u>129.9</u>	17.31	11.51	2
3	41.21	9.59	11.9	6.46	17.17	5.19	2.23	7.32	20.57	18.38	<u>129.3</u>	9.45	3
4	4.35	4.21	3.40	<u>5.3</u>	18.29	9.38	9.26	16.16	4.50	4.68	9.31	13.38	4
5	5.22	16.13	11.10.2	6.36	4.59	10.18	12.24	38.55	<u>129.6</u>	7.9	9.32	63.50	5
6	7.11	19.40	19.33	11.18	13.32	11.16	4.45	12.14	17.30	<u>129.1</u>	<u>129.3</u>	61.55	6
7	10.42	<u>269.2</u>	10.9	<u>128.1</u>	11.61	8.17	9.5	11.22.2	13.22.2	8.38	<u>98.2</u>	3.36	7
8	64.34	15.21	9.16	34.58	33.56	18.20	9.36	20.62	20.28	<u>128.7</u>	<u>64.5</u>	19.38	8
9	4.58	6.17	9.6	2.28	8.49.2	4.47	12.55	10.48	10.41	8.4	<u>98.3</u>	16.36	9
10	16.15	15.20	13.31	10.14	13.9	15.24	7.25	5.9	6.24	<u>269.4</u>	<u>129.10</u>	13.17	10
11	12.56	10.5	2.20	62.117	64.46	22.53	11.6.2	<u>64.5</u>	13.36	28.49	27.64	<u>129.2</u>	11
12	12.25	5.33	6.38	6.4	8.67	9.9	14.21	20.70	32.60	39.50	<u>128.7</u>	61.43	12
13	<u>128.2</u>	10.17	<u>269.8</u>	1.24	3.29	11.12	<u>267.2</u>	9.13	18.55	13.17	<u>5.1</u>	<u>129.4</u>	13
14	10.51	11.3	5.7	6.51	4.7	11.6.1	<u>128.6</u>	15.17	<u>129.3</u>	7.34	10.21	12.38	14
15	7.8	9.34	14.22	6.35	14.60	8.53	13.19	7.58	17.56	6.20	12.8	14.45	15
16	9.54	4.38	8.24	7.26	20.66	2.21	8.51	7.28	<u>269.7</u>	<u>129.5</u>	16.25	6.60	16
17	6.49	13.24	16.5	9.22	7.53	27.46	5.28	10.30	<u>102.1</u>	<u>129.1</u>	12.34	63.15	17
18	5.16	13.11	<u>128.3</u>	26.54	4.11	18.25	27.49	4.17	12.6	<u>83.3</u>	8.44	6.22	18
19	2.25	14.43	3.27	12.17.1	14.11	<u>5.2</u>	<u>269.9</u>	L6.5	<u>5.2</u>	6.55	64.2	11.36	19
20	12.63	<u>104.3</u>	4.62	<u>102.2</u>	1.19	10.36	15.49	8.68	3.37	12.13	2.17.2	13.39	20
21	6.32	<u>269.6</u>	7.21	17.19	14.19	8.48	25.44	47.17	4.26	36.45	<u>267.1</u>	4.19	21
22	7.16	9.55	20.35	63.39	21.57	27.61	14.26	62.37	12.23	<u>129.7</u>	62.102	15.23	22
23	15.16	<u>102.3</u>	12.40	<u>101.3</u>	13.22.1	19.66	23.64	<u>129.6</u>	<u>129.1</u>	26.65	6.27	36.48	23
24	7.23	4.33	40.43	9.15	5.29	10.49	<u>129.9</u>	<u>129.5</u>	3.18	<u>104.1</u>	18.67	<u>104.2</u>	24
25	11.20	15.68	11.50	29.63	12.19	11.47	5.36	11.39	<u>99.1</u>	<u>129.2</u>	11.67	<u>267.3</u>	25
26	10.66	15.56.2	12.10	24.59	8.7	14.7	9.33	15.11	<u>129.8</u>	7.2	6.47	64.38	26
27	22.59	35.60	3.15	33.52	12.30	7.37	<u>269.5</u>	13.67	<u>36.17</u>	15.19	5.25	11.22	27
28	<u>269.3</u>	10.11	9.19	10.7	12.31	13.35	4.53	<u>128.5</u>	10.44	9.37	8.35	18.24	28
29	11.53	4.23	<u>128.9</u>	30.58	3.22	7.6	<u>128.8</u>	<u>83.1</u>	11.8	<u>101.1</u>	5.27	-	29
30	16.32	8.49	76.5	10.25	4.20	17.19.1	16.43	14.25	13.10	8.21	-	-	30
31	14.62	12.4	<u>128.4</u>	8.28	13.13	18.19	19.30	<u>129.2</u>	62.108	<u>269.1</u>	-	-	31
32	6.55	4.10	9.12	5.48	29.51	11.62	15.29	16.20	<u>101.2</u>	30.56	-	-	32
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	

Kuva 6. Koekappaleiden (n=377) eli lattojen järjestys koekentällä. Koekappaleiden puulajit ja kasvupaikat on eroteltu toisistaan värikoodein (Taulukko 6).

2.1.3 Tiheysnäytepalat

Samalla kun jokainen latta sahattiin lopulliseen koemittaan, ylimääräisestä 10 cm:n palasta sahattiin 3,0 cm:n pituinen oksaton pikkupala kuiva-tuoretiheysnäytteitä varten. Tiheysnäytepala pyrittiin ottamaan latan katkaisukohdasta tuoreen leikkauspinnan takia, sillä aiemmasta leikkauspinnasta oli voinut hävitä pihkaa kuivauksen aikana. Tiheysnäytepalan koko pyrittiin pitämään 3,0 cm x 5,0 cm x 2,5 cm kokoisena. Esimerkiksi oksaisuuden takia pala voitiin sahata lyhyemmäksi kuin 30 mm. Kuten latoissakin, tiheysnäytepalojen leikkauspinta pyrittiin pitämään kohtisuorana lustoja vastaan. Tiheysnäytteistä määritettiin myös lustojen leveys. Lustonleveyden mittaustietoja ja näin ollen kevät- ja kesäpuuosuuksien suhdetta ei ollut käytettävissä.

Sahauksen jälkeen tiheysnäytepalat punnittiin ja asetettiin foliovuoissa lämpökaappiin kuivumaan 103 asteeseen ($\pm 5^\circ$) 48 tunniksi. Lämpökaappikuivaus tehtiin pienille erille kerrallaan. Kuivauksen jälkeen tiheysnäytepalat punnittiin uudelleen ja huolehdittiin ettei punnitusta odottaviin paloihin ehtisi imeytyä kosteutta. Kuivauksen jälkeen voitiin laskea kosteussuhdeprosentti ja määritellä kuiva-tuoretiheydet.

2.2. Suoritetut mittaukset

2.2.1 Visuaalinen tarkastelu ja pintakovuus

Maalahotuskokeen aikana latoille tehdään vuosittain visuaalinen tarkastelu ja taivutuskoee. Näiden mittauksien tulisi suorittaa henkilö, joka on perehtynyt EN 252-standardin menetelmiin ja joka tuntee koeasetelman. Toimenpiteet tulisi ajoittaa samalle ajankohdalle joka vuosi siten, että maaperässä olevan koekappaleen kosteus olisi yli puunsyiden kyllästymispisteen (Borsholt ja Henriksen 1992). Maalahotuskoe aloitettiin vuoden 1996 syyskuussa. Tehollinen lämpösumma kokeen aloituksesta vuoden 1996 loppuun oli 98 astevuorokautta. Vuodenaikaan nähden myöhäisestä aloituksesta johtuen lattoja ei tarkistettu vuoden 1997 aikana. Ensimmäisen kerran latat tarkistettiin vuoden 1998 syksyllä. Vuosi 1999 oli mittauksista välivuosi. Vuosien 2000–2008 aikana latat mitattiin vuosittain ja lattojen tarkistus ja mittaukset toteutettiin pääasiallisesti syksyisin. Vuosittaiset mittaukset ja arvioinnit teki Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy:n edustaja. Viimeiset mittaukset suoritettiin maalahotuskokeen lopetuksen yhteydessä 3.6.2015.

Lattojen visuaalisessa tarkastelussa samoin kuin pintakovuuden määrittelyssä määritetään koekappaleeseen iskeytyneen lahon laajuutta ja sen aiheuttamien vaurioiden laajuutta. Lahoasteen asteikko on viisiportainen. Koekappaleet voivat saada vuosittaisessa seurannassa kokonaisluvullisen arvosanan väliltä 0–4 (Taulukko 7). Arvo ”0” kuvaa muuttumatonta koekappaletta ja arvosana ”4” ääripäätä, eli lahonnutta ja vioittunutta lattaa. Lahoasteen numeroarvo voi pysyä samana tai suurentua kokeen edetessä. Numeerinen arvo ei voi pienentyä ja näin ollen latan kunto ei voi palata takaisin parempaan. Jos jollekin latalle annetaan kokeen edetessä pienempi numeroarvo kuin aiempina havaintokertoina, olisi kyseessä virhemittaus.

Taulukko 7. Koekentällä tehtävän lahoasteen määrittämisen kriteerejä EN 252-standardin mukaisesti.

Lahoaste ⁽¹⁾	Kuvaus ⁽¹⁾	Taivutuskoe ⁽¹⁾
0	Ei havaittavia muutoksia. Väri yhtenäinen/ puuaine kovaa/ mahdollista leväkasvustoa	Ei
1	Havaittavia muutoksia värissä/ pinnallista lahoamista/ reunoilla pientä kulumaa	Ei
2	Selviä muutoksia, puu pehmentynyt n. 2-3 mm syvyydeltä kauttaaltaan tai paikoin, reunoilla selviä vaurioita	Suoritetaan
3	Puu pehmentynyt noin 3-4 mm syvyydeltä/ laajolla alueilla lahoa 3-5 mm syvyydeltä/ selviä pintavaurioita	Suoritetaan
4	Murtuminen taivutuskokeessa	Suoritettu

¹⁾ Borsholt ja Henriksen 1992

Vuosittain tehtävä tarkastelu aloitetaan tuottamalla maassa olevalle latalle kevyt ja nopea mekaaninen rasitus. Latan katketessa tässä vaiheessa arvosanaksi annetaan suoraan 4, ja koe päättyy kyseisen latan kohdalta. Jos koekappale ei katkea tässä alkurasituksessa, tarkasteltava latta poistetaan maaperästä varovaisuutta noudattaen. Siitä siivotaan irtoava maa-aines minkä jälkeen tehdään aistinvaraiseen havainnointiin pohjautuva analyysi. Borsholt ja Henriksen (1992) ohjeistavat tarkistamaan koekappaleen kaikki sivut muutosten havaitsemiseksi värissä tai tekstuurissa, sekä tekemään havaintoja sienien olemassaolosta. Visuaalisen tarkastelun yhteydessä kontrolloidaan myös koekappaleiden pintakovuuden mahdollinen muutos. Apuvälineenä käytetään koetinpiikkiä, millä tehdään kevyt painallus koekappaleen pintaan, mistä päätellään onko puuaine mahdollisesti pehmenyt ja miltä syvyydeltä ja millä laajuudella. Jos latta saa visuaalisessa tarkastelussa arvosanaksi 0 tai 1, asetetaan latta takaisin maahan 25 cm syvyydelle.

2.2.2 Taivutuskoe

Latan saadessa visuaalisessa tarkastelussa ja koetinpiikin arvioinnissa lahoasteen arvoksi 2 tai 3, kyseiselle koekappaleelle suoritetaan taivutuskoe erillisen taivutuskoelaitteen avulla (Borsholt ja Henriksen 1992). Laho on saattanut edetä latan sisäosassa merkittävästi heikentäen puuaineen lujuusominaisuuksia. Taivutuslujuuden heikentymisen mittaava laite (Kuva 7) on standardoitu, ja mittaukset tapahtuvat joka kerta samalla tavalla ja vakiovoimalla. Koekappaleisiin kohdistuva murtava voima vastaa 125 kg kuormitusta. Latta asetetaan taivutuskoelaitteeseen pitkittäin 50 mm sivun ollessa vaakatasossa. Vakiovoima kohdistetaan puun säteen suuntaisesti latan keskivaiheelle kohtisuoraan 25 mm sivua vasten. Tästä syystä lattaa valmistettaessa on ollut tärkeää huolehtia, ettei 5 cm:n päätyyn ole tullut yli 15 asteen poikkeamaa tangentista. Kärkkäisen (2007, s.222) mukaan taivutuslujuus kohtisuoraan puun syitä vastaan on eniten käytetty puun lujuuden tunnus, koska se vastaa määrittämistavaltaan monissa puun käyttösovelluksissa tarvittavaa lujuutta. Jos latta murtuu taivutuskokeessa, lahoasteeksi merkitään 4 ja latan maalahotuskoe päättyy. Taivutuskokeen lopputuloksen jälkeen voidaan vahvistaa lattojen kulloisenkin mittauskerran lahoasteen arvosanat.



Kuva 7. Siperianlehtikuusien maalahotuskokeen aikana tehtävässä taivutuskokeessa käytettävä VTT:n laite. Kuva: Martti Venäläinen.

Maalahotuskokeen päättyessä kaikille jäljelle jääneille latoille on tehtävä taivutuskoe ja näin myös meneteltiin 3.6.2015. Viimeisissä mittauksissa yhteensä 45 lattaa kestivät murtumatta. Näistä 28 olivat 25-vuotiaita siperianlehtikuusia.

Lahoasteen arviointi vaatii tarkkuutta, mikä korostuu erityisesti luokiteltaessa lattoja arvosanalle 2. Latoille on tehtävä tällöin taivutuskoe ja koekappale voi saada arvosanan 4, jolloin koekappale on saavuttanut sekä lahoamisen että kokeen päätepisteen. Jos mittauksia suorittava henkilö luokittelee arvosanalle 1, niin taivutuskoe ei tehdä. Tämä voi luoda virheellisen tuloksen, jos olisikin ollut syytä antaa arvosana 2 ja suorittaa taivutuskoe. Tämä saattaa lisätä systemaattisen harhan riskiä. Nyt toteutetussa maalahotuskokeessa lahoasteen luokittelu on tehty ilmeisen huolellisesti, sillä vain kahdessa tapauksessa latta, jolle on annettu arvosana 2 on saanut taivutuskokeen jälkeen arvosanan 4. Visuaalisten arviointien ja taivutuskokeiden yhteismäärä maalahotuskokeen aikana on ollut 11 225 kertaa. Yhteensä 303 mittauksessa lahoasteelle 3 arvioitu latta on murtunut taivutuskokeessa.

2.3 Aineiston käsittely ja analysointi

2.3.1 Epäselvät latat ja mittaustiedot

Aineisto sisälsi yhteensä 377 latan mittaustietoja maalahotuskokeen ajalta. Kymmenen latan mittaustiedot jätettiin tulosten analyysien ulkopuolelle sillä oikean puulajin määrittäminen oli mahdotonta päällekkäisen numeroinnin takia (latat: 129.1, 129.1, 129.2, 129.2, 129.3, 129.3, 5.2, 5.2, 64.5, 64.5).

Kokeen aikana katosi neljä lattaa ja näiden mittaustulokset loppuvat kokeen edetessä vaikkeivat latat olleet saaneet arvosanaa 4. Kadonneista latoista kolme kuului siperianlehtikuusen nuoren sydänpuu -koeryhmään (latat: 15.68, 18.29, 40.43) ja yksi kuusen sydänpuu -koeryhmään (latta: 269.2). Vuoden 2003 mittauksissa kolme tiheän sydänpuun koeryhmään kuuluneista latoista on arvioitu lahoasteelle 3. Seuraavana vuonna samat kolme lattaa ovat saaneet arvon 2. Standardin mukaan lahoasteen arvosana ei voi parantua kokeen aikana, mutta näiden kolmen latan arvosanoihin ei tehty analyysien aikana muutoksia.

2.3.2 Aineiston tarkastelutasot ja koeryhmät

Aineisto järjestettiin analyysija varten kolmeksi tarkastelutasoksi (Taulukko 8) joiden alla aineisto jaettiin eri koeryhmiksi. Ensimmäisenä tarkastelutasona oli verrata 25-vuotiaita siperianlehtikuusia vertailuaineiston kanssa. Tähän sisältyi maalahotuskokeen kaikkien koekappaleiden (n=367) mittaustiedot, mitkä ryhmiteltiin neljäksi koeryhmäksi (Taulukko 9). Toisena tarkastelutasona oli tutkia 25-vuotiaat siperianlehtikuuset (n=297), joiden kloonitiedot olivat tiedossa, ja koeryhmiksi muodostui 25 ryhmää. Kolmantena tasona oli kantapuumetsiköiden tarkastelu, missä 25-vuotiaiden kloonien (n=297) kantapuumetsiköt Lapinjärvi, Punkaharju ja Ähtäri muodostivat kolme koeryhmää.

Taulukko 8. Maalahotuskokeen aineiston ryhmittely kolmeksi kokonaisuudeksi.

Tarkastelutaso	Koeryhmiä	Latat n
Kaikki näytteet	Neljä ryhmää	367
Kloonit ⁽¹⁾	25 ryhmää	297
Kantapuumetsiköt ⁽¹⁾	Kolme ryhmää	297

1) Sisältää vain ne 25-vuotiaat siperianlehtikuuset joiden klooninumerot on tiedossa

Taulukko 9. Ensimmäisen tarkastelutason jaottelu neljään eri ryhmään analyysija varten. Lukumäärä (n) on lattojen määrää kokeen alussa.

Koodi	Koeryhmä	Alkuperä	n
Nuoren sydän ⁽¹⁾	Siperianlehtikuusi, nuoren sydänpuu	Imatra ja Neuvola	314
Tiheä	Siperianlehtikuusi, tiheä sydänpuu	Punkaharju	19
Mänty	Mänty, sydänpuu	Punkaharju	16
Kuusi	Kuusi, sydänpuu	Punkaharju	18

1) Sisältää kaikki 25-vuotiaat siperianlehtikuuset

2.3.3 Tilastollinen analysointi

Tilastollisissa analyyseissä pääasiallisena menetelminä oli tutkia koeryhmien lahoasteiden keskiarvoja sekä koeryhmien elinkaaria. Standardi EN 252 ohjeistaa määrittämään koeryhmän keskimääräisen lahoasteen keskiarvon laskemalla koeryhmän kaikkien lattojen lahoasteiden arvosanat yhteen ja jakamalla saatu summa koeryhmän koolla. Samalla standardi ohjaa laskemaan koeryhmän elinkaaren kaikkien koeryhmään kuuluvien lattojen katkettua. Elinkaaren määrittäminen oli tärkeää, sillä lahoasteen keskiarvo saturoituu kokeen edetessä arvosanaan 4 kuvaten epätarkasti kuinka monta lattaa kustakin koeryhmästä on tuhoutunut tai ehjänä. Keskimääräinen elinkaari lasketaan Borsholt ja Henriksenin (1992) mukaan jakamalla yksittäisen testikappaleen elinkaari testikappaleiden lukumäärällä (Kaava 1). Yksittäisen latan elinkaari määritetään kokeen aloitusvuodesta lattan katkeamisvuoteen.

$$\text{Testisarjan keskimääräinen elinkaari} = \frac{\sum_i^n \text{Testisarjan koekappaleen elinkaari}}{n} \quad (1)$$

Koeryhmien lahoasteiden keskiarvojen merkitsevää eroavaisuutta tutkittiin Palantin ym. (2011) tutkimuksen mukaisesti käyttämällä yksisuuntaista toistettujen mittausten varianssianalyysia (ANOVA). Yksisuuntaisessa toistettujen mittausten varianssianalyysissa riippuvana (within-subject factor) muuttujana käytettiin aikaa eli tutkimuksen aikana suoritettuja 12 arviointiajankohtia. Riippumattomina muuttujina (between-subject) käytettiin koeryhmiä. Post-Hoc parittaisessa vertailussa käytettiin Bonferroni-menetelmää.

Koeryhmien elinkaaria analysoitiin EN 252-standardin määrittämän tavan lisäksi Kaplan-Meier menetelmällä log-rank-testillä. Tämän menetelmän käyttäminen oli välttämätöntä, sillä osa latoista säilyi ehjänä kokeen läpi, jolloin elinkaarien laskeminen EN 252-standardin mukaisesti ei ollut aina mahdollista. Kaplan-Meier menetelmä ottaa huomioon, että osa latoista voi olla katkeamatta läpi koko kokeen. Katkeamisikäaineisto ei ollut normaalisti jakautunut ja tästä syystä Kaplan-Meier menetelmästä tarkasteltiin elinkaarimediaaneja elinkaarikeskiarvojen sijaan.

Tilastollisissa analyyseissa käytettiin IBM SPSS Statistic-ohjelmiston versiota 24 sekä Microsoftin Office 365-tilauksen Excel-ohjelmistoa. Kaikkien analyysien luottamustasona käytettiin 95 % todennäköisyyttä.

3. TULOKSET

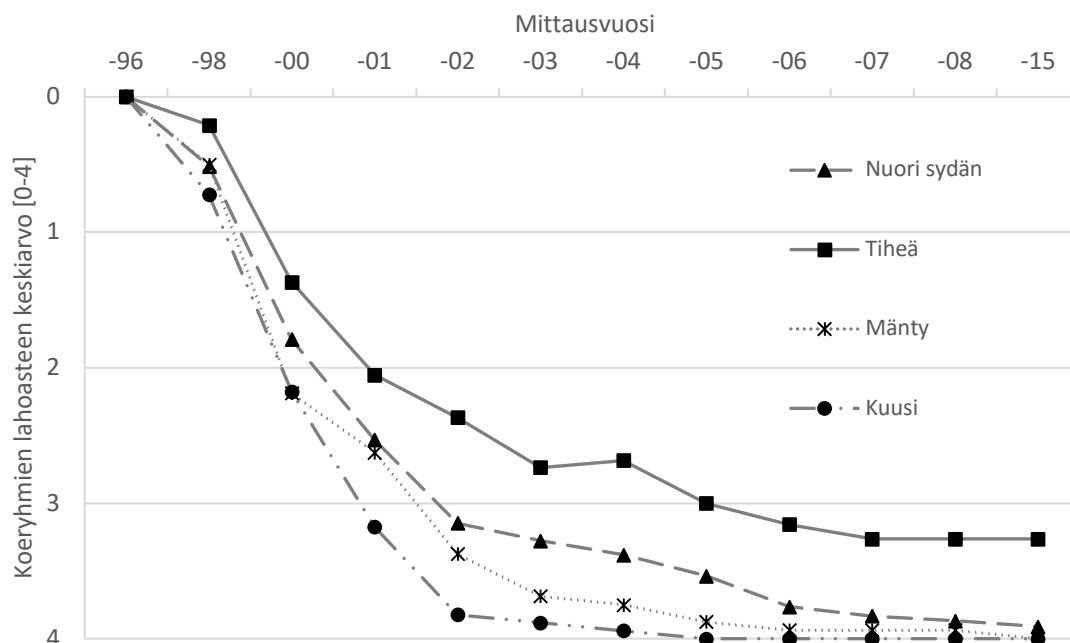
3.1 25-vuotiaat siperianlehtikuuset ja vertailuaineisto

25-vuotiaan siperianlehtikuusen, vanhemman ja tiheän siperianlehtikuusen, männyn sekä kuusen koeryhmien (Taulukko 9) lahoasteiden keskiarvot alkoivat suurentua heti kokeen alkuvuosina (Taulukko 10 ja Kuva 8). 25-vuotiaan siperianlehtikuusen koeryhmän lahoasteen keskiarvo ylitti arvosanan 3 kokeen kestätyä kuusi vuotta. Kuusen koeryhmän lahoasteen keskiarvo saavutti ensimmäisenä arvosanan 4. Tämä tapahtui vuoden 2005 mittauksissa kokeen kestätyä yhdeksän vuotta. Kuusen lisäksi männyn koeryhmän kaikki latat tuhoutuivat kokeen aikana. Kokeen aloituksessa vuonna 1996 näytteiden lukumäärä oli 367 lattia ja kokeen lopussa määrä oli puuttuvista tiedoista johtuen 363 lattia. Vanhemman ja tiheän siperianlehtikuusen koeryhmän vuoden 2004 keskiarvo (2,68) oli poikkeuksellisesti pienempi kuin vuonna 2003 (2,74).

Taulukko 10. Koeryhmien lahoasteiden keskiarvot (0-4) vuosittaisissa mittauksissa. Koeryhmien vuosittaiselle lahoasteelle on laskettu keskihajonta (s).

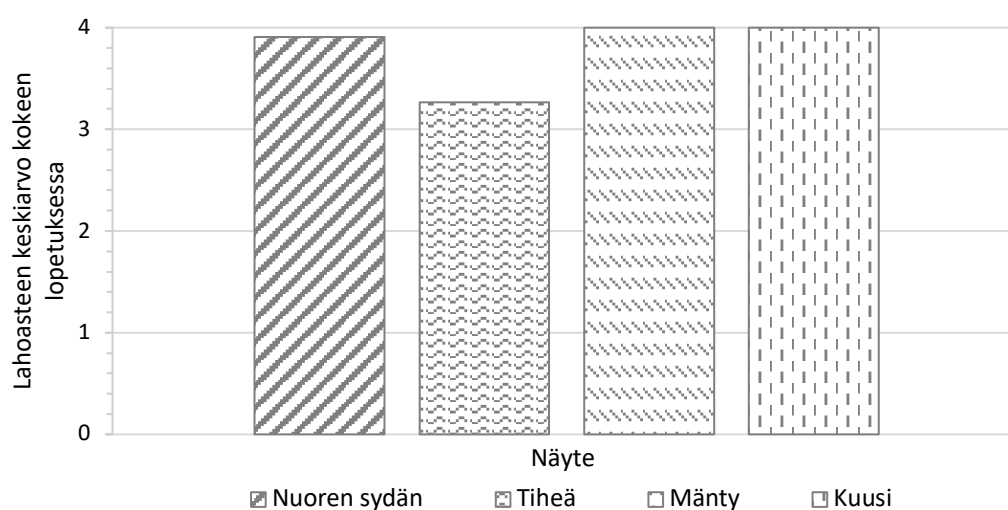
Kokeen aloituksesta (vuosi)	Nuoren sydän		Tiheä		Mänty		Kuusi	
		s		s		s		s
5 vuoden jälkeen (-01)	2,5	0,7	2,1	0,8	2,6	0,7	3,2	0,7
6 vuoden jälkeen (-02)	3,1	0,6	2,4	0,7	3,4	0,5	3,8	0,4
7 vuoden jälkeen (-03)	3,3	0,5	2,7	0,7	3,7	0,5	3,9	0,3
8 vuoden jälkeen (-04)	3,4	0,5	2,7	0,7	3,8	0,4	3,9	0,2
9 vuoden jälkeen (-05)	3,5	0,5	3,0	0,6	3,9	0,3	4,0	
10 vuoden jälkeen (-06)	3,8	0,4	3,2	0,6	3,9	0,3	4,0	
11 vuoden jälkeen (-07)	3,8	0,4	3,3	0,5	3,9	0,3	4,0	
12 vuoden jälkeen (-08)	3,9	0,3	3,3	0,5	3,9	0,3	4,0	
19 vuoden jälkeen (-15)	3,9	0,3	3,3	0,5	4,0		4,0	

EN 252-standardin mukaan lahotuskestokokeen minimikesto on vähintään viisi vuotta. Tänä aikana oletetaan tapahtuvan näkyviä sekä mitattavia muutoksia. Kokeen kestolle ei ole määritetty maksimiaikaa. Vuonna 2001, maalahoituskokeen kestätyä viisi vuotta, jokaisen koeryhmän lahoasteen keskiarvo oli ylittänyt arvosanan kaksi (Taulukko 10). Koeryhmien välinen paremmuusjärjestys lahoasteen keskiarvon perusteella säilyi muuttumattomana viiden vuoden kohdalta kokeen päättymiseen asti.



Kuva 8. Neljän koeryhmän lahoasteiden keskiarvojen kehittyminen kokeen aloituksesta viimeiseen mitaukseen. Kuvaajassa origo poikkeuksellisesti ylhäällä lahoamisen visualisoinnin korostamiseksi.

Kokeen päättyessä koeryhmien lahoasteiden keskiarvot olivat arvosanojen 3–4 välissä (Kuva 9). 25-vuotiaan siperianlehtikuusen koeryhmän lahoasteen keskiarvo oli kokeen päättyessä 3,91. Männyn ja kuusen koeryhmillä keskiarvo oli lattojen katkeamisesta johtuen suurin mahdollinen eli tasan 4. Koeryhmistä pienin lahoasteen keskiarvo 3,26 oli vanhemman ja tiheän siperianlehtikuusen koeryhmällä.



Kuva 9. Koeryhmien lahoasteiden keskiarvot maalahoituskokeen päättyessä. 25-vuotias siperianlehtikuusi 3,91 (keskihajonta 0,29), vanhempi ja tiheä siperianlehtikuusi 3,26 (keskihajonta 0,45), mänty 4,00 ja kuusi 4,00.

3.1.1 Lahoasteen eroavuus neljän koeryhmän välillä

Tarkasteltaessa 25-vuotiaiden siperianlehtikuusien, vanhemman ja tiheän siperianlehtikuusen, männyn sekä kuusen koeryhmiä yksisuuntaisella toistettujen mittausten varianssianalyysillä, ajalla sekä koeryhmän yhteisvaikutuksella ajan kanssa oli tilastollisesti merkitsevä vaikutus lahoasteen keskiarvon muutokseen ($p \leq 0,05$). Neljän koeryhmän lahoasteen keskiarvo erosi tilastollisesti merkitsevästi ($p \leq 0,05$) ainakin kahden koeryhmän välillä (Taulukko 11).

Taulukko 11. Yksisuuntaisen toistettujen mittausten varianssianalyysin tulos lahoasteen keskiarvon eroavuudesta neljän koeryhmän (Nuoren sydän, Tiheä, Mänty, Kuusi) välillä.

Tarkastelukohde	Vapausasteet	F-testiluku	p-arvo
Neljä koeryhmää	3	24,174	< 0,001

25-vuotiaan siperianlehtikuusen sydänpuun lahoasteen keskiarvo erosi koeryhmien parittaisessa vertailussa tilastollisesti merkitsevästi ($p \leq 0,05$) kuusen sekä vanhemman ja tiheän siperianlehtikuusen sydänpuusta (Taulukot 12–13). Sitä vastoin 25-vuotiaan siperianlehtikuusen sydänpuun lahoasteen keskiarvo ei eronnut tilastollisesti merkitsevästi männyn sydänpuun keskiarvosta ($p=0,134$). Vanhemman ja tiheän siperianlehtikuusen sydänpuun lahoasteen keskiarvo erosi parittaisessa vertailussa tilastollisesti merkitsevästi ($p \leq 0,05$) muista koeryhmistä.

Taulukko 12. Koeryhmien lahoasteiden arvioidut keskiarvot (Estimated Marginal Means) SPSS -ohjelman tulostamana. Luottamustaso 95 %.

Koeryhmä	Keskiarvo	Keskivirhe	Alaraja (95%)	Yläraja (95%)
Nuoren sydän	2,80	0,018	2,76	2,83
Tiheä	2,28	0,078	2,98	3,29
Mänty	2,98	0,081	2,83	3,14
Kuusi	3,13	0,074	2,14	2,43

Taulukko 13. Koeryhmien lahoasteiden keskiarvojen (Taulukko 12) parittainen vertailu.

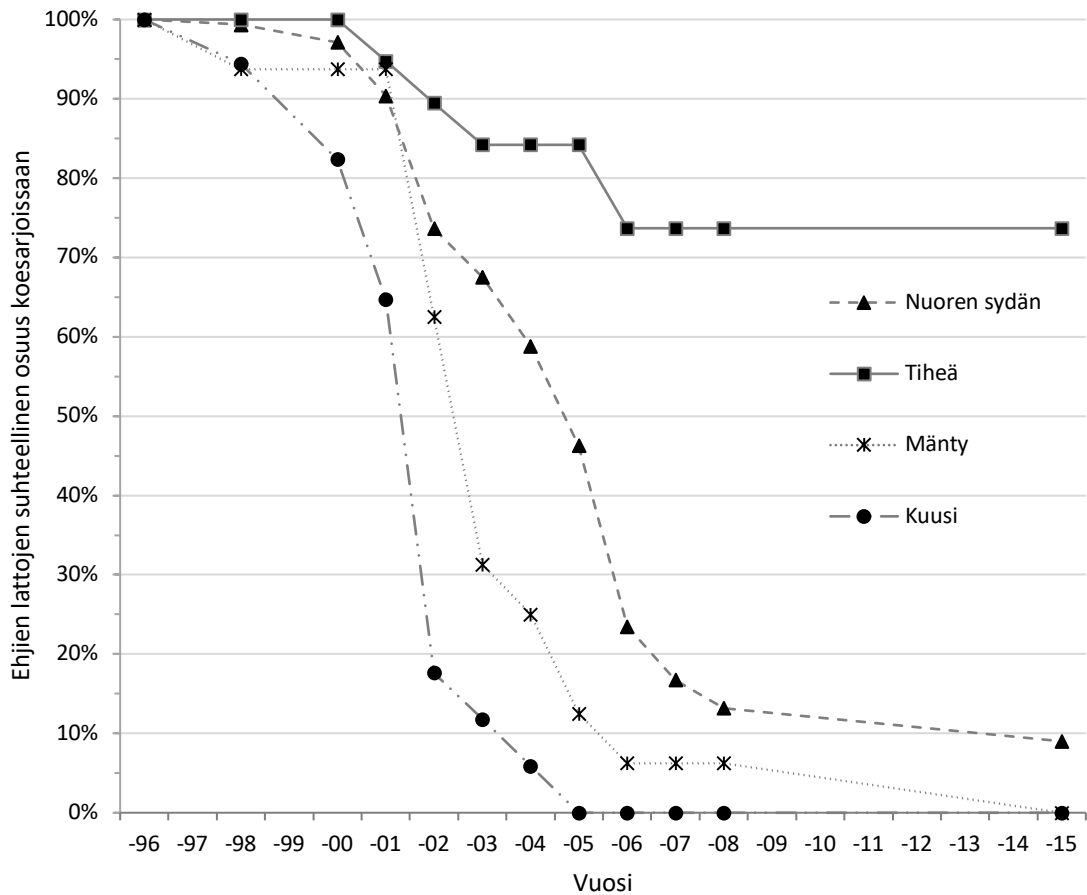
Koeryhmä	Koeryhmä	Keskiarvon ero	Keskivirhe	p-arvo
Nuoren sydän	Tiheä	0,51	0,08	< 0,001
	Mänty	-0,19	0,08	0,134
	Kuusi	-0,34	0,08	< 0,001
Tiheä	Nuoren sydän	-0,51	0,08	< 0,001
	Mänty	-0,70	0,11	< 0,001
	Kuusi	-0,85	0,11	< 0,001

3.1.2 Neljän koeryhmän elinkaaret

Kokeen päättyessä 25-vuotiaiden siperianlehtikuusen koesarjan latoista 8,9 prosenttia oli ehjinä (Taulukko 14 ja Kuva 10). Vanhemman ja tiheän siperianlehtikuusen koeryhmän latoista 73,7 prosenttia pysyi ehjänä koko koeajan. Kuusen koeryhmän sisällä suurin muutos tapahtui viidennen ja kuudennen vuoden välillä, jolloin ehjien lattojen suhteellinen osuus putosi 65 prosentista 18 prosenttiin.

Taulukko 14. Ehjien lattojen suhteellinen osuus koeryhmissään mittausajankohtana kokeen aloituksesta. Osuuksissa on huomioitu kokeen aikana kadonneet neljä lattiaa.

Kokeen aloituksesta	Nuoren sydän (%)	Tiheä (%)	Mänty (%)	Kuusi (%)
5 vuotta	89,8	94,7	93,8	64,7
6 vuotta	72,9	89,5	62,5	17,6
7 vuotta	66,9	84,2	31,3	11,8
8 vuotta	58,3	84,2	25,0	5,9
9 vuotta	45,9	84,2	12,5	0,0
10 vuotta	23,2	73,7	6,3	0,0
11 vuotta	16,6	73,7	6,3	0,0
12 vuotta	13,1	73,7	6,3	0,0
19 vuotta	8,9	73,7	0,0	0,0



Kuva 10. Neljän koeryhmän ehjen lattojen suhteellinen osuus koeryhmissään. Kuvaajassa on huomioitu kokeen aikana kadonneet neljä lattia. Kuvaajassa origo poikkeuksellisesti ylhäällä lahoamisen visualisoinnin korostamiseksi.

EN 252-standardin mukaan koeryhmän elinkaari voidaan laskea koeryhmän kaikkien lattojen katkettua kokeen aikana. Männyn ja kuusen koeryhmien elinkaaret määriteltiin EN 252-standardin mukaan kaavalla 1. Kummallekaan siperianlehtikuusen koeryhmälle ei voitu määrittää tarkkaa elinkaarta standardin ohjeistamana, sillä molempien koeryhmien lattoja säilyi ehjänä läpi kokeen. Lattojen ehjänä säilymisen huomioiden voitiin olettaa 25-vuotiaan siperianlehtikuusen koeryhmän elinkaaren olleen vähintään 9 vuotta 7 kuukautta (Taulukko 15). Keskihajonta oli 4 vuotta 2 kuukautta.

Taulukko 15. Koeryhmien keskimääräinen elinkaari maalahotuskokeessa EN 252-standardin mukaisesti. Molempien siperianlehtikuusen koeryhmien elinkaarissa on huomioitu, että osa latoista säilyivät ehjinä.

Koeryhmä	Elinkaari (v,kk)	Keskihajonta(v,kk)
Nuoren sydän	>9,7	4,2
Tiheä	>16,0	5,4
Mänty	7,7	3,6
Kuusi	5,8	1,7

Koeryhmien lattoja säilyi ehjänä kokeen päättyessäkin. Tästä syystä standardin EN 252 mukaisesti laskettujen elinkaarien vertaaminen ei ollut mahdollista. Tarkasteltaessa koeryhmien elinkaaria Kaplan-Meier menetelmällä, koeryhmien elinkaarien (Taulukko 16) ero log-rank-testillä (Taulukko 17) oli merkitsevä ($p > 0,001$).

Taulukko 16. Koeryhmien elinkaaren mediaani Kaplan-Meier menetelmällä. Luottamustaso 95 % ja minimi- sekä maksimielinkaaret kuukauden tarkkuudella.

Koeryhmä	Elinkaari (v)	Keskivirhe	Minimi (v,kk)	Maksimi (v,kk)
Nuoren sydän	9	0,16	8,8	9,4
Tiheä	19	-	-	-
Mänty	7	0,37	6,3	7,9
Kuusi	6	0,20	5,7	6,5

Taulukko 17. 25-vuotiaan siperianlehtikuusen, vanhemman ja tiheän siperianlehtikuusen, männyn sekä kuusen koeryhmien elinkaarien välinen ero Kaplan-Meier menetelmällä log-rank-testillä analysoituna.

Testi	Khiin neliö	Vapausaste	p-arvo
Log-rank	69,6	3	> 0,001

Vanhemman ja tiheän siperianlehtikuusen koeryhmän elinkaari oli pidempi kuin muiden koeryhmien elinkaaret. Vanhemman ja tiheän siperianlehtikuusen koeryhmän vaikutus poissuljettiin tekemällä Kaplan-Meier menetelmän log-rank-testi vain kolmen muun koeryhmän kesken. 25-vuotiaan siperianlehtikuusen, männyn ja kuusen koeryhmien elinkaarien eroavuus log-rank-testillä tarkasteltuna oli merkitsevä ($p > 0,001$).

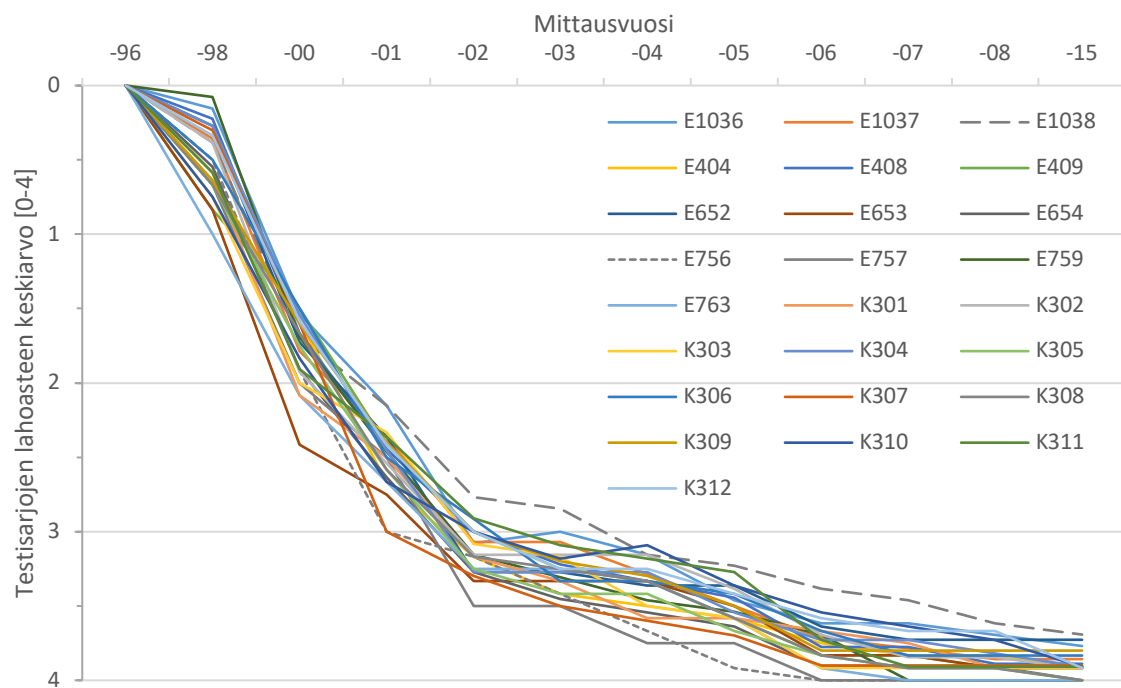
Koeryhmien lahoasteiden keskiarvojen parittaisessa vertailussa 25-vuotiaan siperianlehtikuusen ja männyn koeryhmien välillä ei ollut tilastollisesti merkitsevää eroa. Kaplan-Meier menetelmän elinkaarianalyysissä katkeamisiällä oli tilastollisesti merkitsevä vaikutus ja log-rank-testin p-arvo oli 0,005.

3.2 Kloonien lahonkesto-ominaisuus

25-vuotiaiden siperianlehtikuusien kloonien koeryhmien lahoasteiden keskiarvot alkoivat suurentua heti kokeen alkuvuosina. (Taulukko 18 ja Kuva 11). Vuonna 2006 kokeen kesettyä 10 vuotta ensimmäiset kloonien koeryhmät saivat lahoasteen arvosanaksi 4. Nämä olivat kloonien E756 ja E757 koeryhmät (Kuva 11). Kokeen päättyessä seitsemällä kloonilla koeryhmän lahoaste oli 4 ja muilla lahoaste oli yli 3. Kokeen päättyessä pienin lahoasteen keskiarvo 3,69 oli kloonilla E1038.

Taulukko 18. Kloonien koeryhmien lahoasteiden keskiarvo (0-4) vuosittaisissa mittauksissa. Taulukko alkaa viidennen mittausvuoden kohdalta vuodesta 2001. Kantapuu kertoo kloonin alkuperäisen kantapuumetsikön.

Klooni	n	Kantapuu	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2015
E756	12	Lapinjärvi	3,0	3,2	3,4	3,7	3,9	4,0	4,0	4,0	4,0
E757	12	Lapinjärvi	2,5	3,5	3,5	3,8	3,8	4,0	4,0	4,0	4,0
E759	13	Lapinjärvi	2,5	3,2	3,3	3,5	3,5	3,7	4,0	4,0	4,0
E763	12	Lapinjärvi	2,7	3,3	3,3	3,3	3,6	3,9	4,0	4,0	4,0
E1038	13	Punkaharju	2,2	2,8	2,8	3,2	3,2	3,4	3,5	3,6	3,7
E652	11	Punkaharju	2,4	3,3	3,3	3,4	3,4	3,6	3,7	3,7	3,7
E1036	13	Punkaharju	2,2	3,1	3,0	3,2	3,5	3,6	3,6	3,7	3,8
E1037	14	Punkaharju	2,4	3,1	3,1	3,3	3,5	3,7	3,8	3,9	3,9
E408	9	Punkaharju	2,4	3,0	3,2	3,3	3,4	3,8	3,8	3,9	3,9
E404	12	Punkaharju	2,7	3,2	3,4	3,5	3,6	3,8	3,8	3,8	3,9
E409	12	Punkaharju	2,4	3,0	3,3	3,3	3,6	3,8	3,8	3,9	3,9
E653	12	Punkaharju	2,8	3,3	3,3	3,3	3,5	3,8	3,8	3,9	3,9
E654	11	Punkaharju	2,6	3,3	3,5	3,5	3,6	3,9	3,9	3,9	4,0
K309	11	Ähtäri	2,4	3,0	3,2	3,3	3,5	3,8	3,8	3,8	3,8
K306	12	Ähtäri	2,5	2,9	3,3	3,3	3,4	3,7	3,8	3,8	3,8
K307	10	Ähtäri	3,0	3,3	3,5	3,6	3,7	3,9	3,9	3,9	3,9
K304	11	Ähtäri	2,5	3,3	3,3	3,3	3,5	3,7	3,7	3,8	3,9
K310	12	Ähtäri	2,7	3,0	3,2	3,1	3,4	3,5	3,6	3,7	3,9
K311	12	Ähtäri	2,4	2,9	3,1	3,2	3,3	3,7	3,9	3,9	3,9
K301	12	Ähtäri	2,5	3,2	3,3	3,6	3,6	3,7	3,8	3,9	3,9
K303	12	Ähtäri	2,3	3,1	3,2	3,5	3,6	3,9	3,9	3,9	3,9
K312	12	Ähtäri	2,4	3,0	3,3	3,3	3,4	3,6	3,7	3,7	3,9
K302	13	Ähtäri	2,5	3,2	3,2	3,2	3,4	3,7	3,8	3,8	3,9
K305	12	Ähtäri	2,6	3,3	3,4	3,4	3,7	3,8	3,9	3,9	4,0
K308	12	Ähtäri	2,6	3,2	3,3	3,3	3,6	3,8	3,9	3,9	4,0



Kuva 11. 25-vuotiaiden siperianlehtikuusien kloonien koeryhmien lahoasteiden keskiarvojen (0-4) kehittyminen kokeen aloituksesta viimeiseen mittaukseen.

3.2.1 Lahoasteen eroavuus kloonien koeryhmien välillä

Tarkasteltaessa 25-vuotiaiden siperianlehtikuusien kloonien koeryhmiä yksisuuntaisella toistettujen mittausten varianssianalyysillä (Taulukko 19), ajalla oli tilastollisesti merkitsevä vaikutus lahoasteen keskiarvon muutokseen ($p \leq 0,05$). Kloonien välillä lahoasteen keskiarvo ei eronnut tilastollisesti merkitsevästi ($p=0,067$). Parittaista vertailua ei tehty.

Taulukko 19. Yksisuuntaisen toistettujen mittausten varianssianalyysin tulos kloonien lahoasteen keskiarvon eroavuudesta 25 koeryhmän välillä.

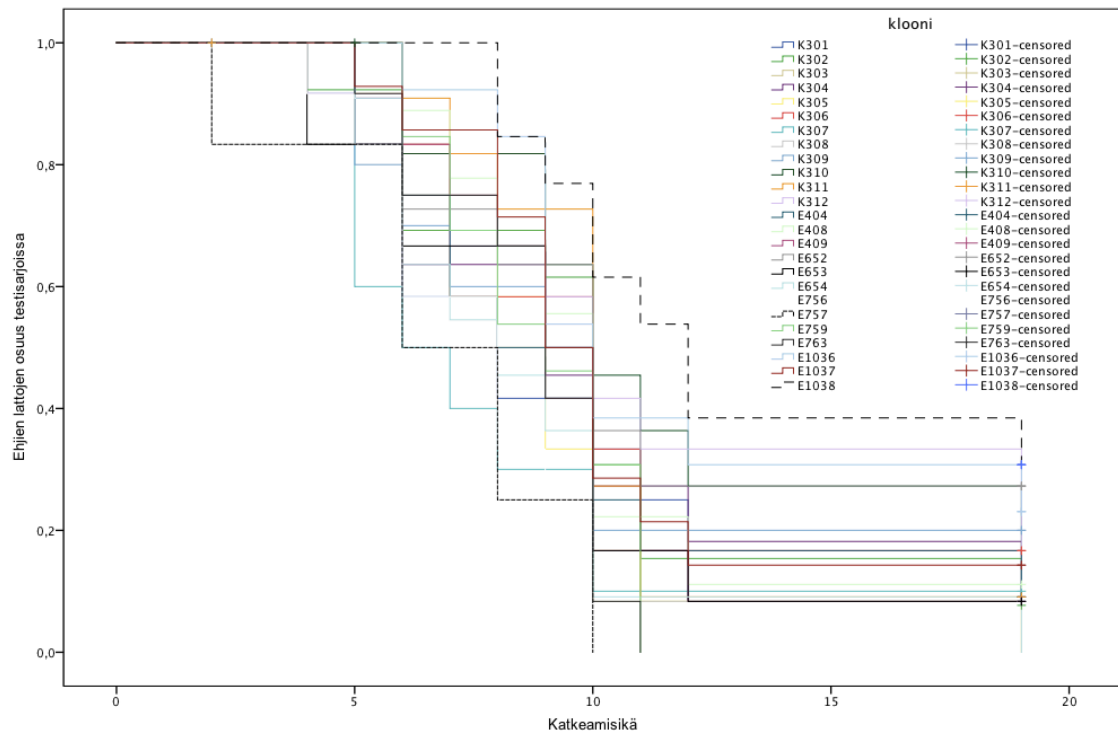
Tarkastelukohde	Vapausasteet	F-testiluku	p-arvo
Kloonit	24	1,498	0,067

3.2.2 Kloonien elinkaaret

Kokeen päättyessä 25-vuotiaiden siperianlehtikuusien latoista 8,9 prosenttia olivat säilyneet ehjinä. Ehjien lattojen osuus ei jakautunut tasaisesti kloonien koeryhmien kesken (Taulukko 20). Seitsemän kloonin koeryhmissä latat olivat rikkoutuneet viimeistään kokeen päättyessä. Kloonin E1038 koeryhmästä (Kuva 12) jäi neljä lattaa ehjiksi viimeisessä mittauksessa ja niiden suhteellinen osuus koeryhmästään oli 30,8 prosenttia. Kloonien E756 ja E757 koeryhmien loputkin latat katkesivat kokeen kestänyä 10 vuotta.

Taulukko 20. Ehjien lattojen suhteellinen osuus koeryhmissään vuosittaisissa mittauksissa. Taulukko alkaa vuodesta 2001 kokeen kestänyä standardin EN 252 vaatiman vähimmäisajan viisi vuotta.

Klooni	n	Kantapuu	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2015
E756	13	Lapinjärvi	83,3	58,3	58,3	33,3	8,3	0,0	0,0	0,0	0,0
E757	14	Lapinjärvi	83,3	50,0	50,0	25,0	25,0	0,0	0,0	0,0	0,0
E759	13	Lapinjärvi	100,0	84,6	69,2	53,8	46,2	30,8	0,0	0,0	0,0
E763	12	Lapinjärvi	91,7	75,0	75,0	66,7	41,7	8,3	0,0	0,0	0,0
E1038	9	Punkaharju	100,0	100,0	100,0	84,6	76,9	61,5	53,8	38,5	30,8
E652	12	Punkaharju	100,0	72,7	72,7	63,6	63,6	36,4	27,3	27,3	27,3
E1036	11	Punkaharju	100,0	92,3	92,3	84,6	53,8	38,5	38,5	30,8	23,1
E1037	12	Punkaharju	92,9	85,7	85,7	71,4	50,0	28,6	21,4	14,3	14,3
E408	11	Punkaharju	100,0	88,9	77,8	66,7	55,6	22,2	22,2	11,1	11,1
E404	12	Punkaharju	83,3	75,0	58,3	50,0	41,7	25,0	16,7	16,7	8,3
E409	12	Punkaharju	100,0	83,3	75,0	66,7	41,7	16,7	16,7	8,3	8,3
E653	13	Punkaharju	83,3	66,7	66,7	66,7	50,0	16,7	16,7	8,3	8,3
E654	12	Punkaharju	90,9	63,6	54,5	45,5	36,4	9,1	9,1	9,1	0,0
K309	12	Ähtäri	81,8	72,7	63,6	63,6	54,5	27,3	27,3	27,3	27,3
K306	13	Ähtäri	83,3	83,3	58,3	58,3	58,3	33,3	16,7	16,7	16,7
K310	12	Ähtäri	100,0	83,3	83,3	83,3	66,7	50,0	41,7	33,3	16,7
K311	11	Ähtäri	100,0	91,7	83,3	75,0	75,0	33,3	16,7	16,7	16,7
K307	12	Ähtäri	60,0	50,0	40,0	30,0	30,0	10,0	10,0	10,0	10,0
K304	12	Ähtäri	90,9	63,6	63,6	63,6	45,5	27,3	27,3	18,2	9,1
K301	12	Ähtäri	83,3	58,3	58,3	41,7	41,7	33,3	25,0	8,3	8,3
K303	12	Ähtäri	100,0	83,3	75,0	50,0	41,7	8,3	8,3	8,3	8,3
K312	11	Ähtäri	91,7	75,0	66,7	66,7	58,3	41,7	33,3	33,3	8,3
K302	12	Ähtäri	92,3	69,2	69,2	69,2	61,5	30,8	15,4	15,4	7,7
K305	12	Ähtäri	91,7	75,0	58,3	58,3	33,3	16,7	8,3	8,3	0,0
K308	12	Ähtäri	100,0	75,0	75,0	66,7	41,7	16,7	8,3	8,3	0,0



Kuva 12. Kloonien koeryhmien elinkaaret. Suhteellinen osuus (y-akseli) kuvaa kuinka suuri osuus koeryhmän latoista on ehjinä ajan kuluessa (x-akseli). Kloonin E1038 elinkaari kulkee ylimmäisenä ja on harvalla katkoviivalla korostettuna. Kloonin E757 tiheällä katkoviivalla korostettuna.

Kloonien koeryhmien elinkaarien mediaanit määriteltiin Kaplan-Meier menetelmällä (Taulukko 21). Koeryhmien ($n=25$) mediaanielinkaari oli yhdeksän vuotta. Kloonien elinkaarien mediaanien ero log-rank-testillä (Taulukko 22) tarkasteltuna oli tilastollisesti merkitsevä ($p=0,019$). Kloonin E1038 elinkaaren mediaani oli koeryhmistä pisin, 12 vuotta. Lyhyin elinkaaren mediaani oli kuusi vuotta ja se oli kloonilla E757.

Taulukko 21. Kloonien koeryhmien elinkaarien mediaani vuosina Kaplan-Meier menetelmällä. Minimi- ja maksimielinkaaret kuukauden tarkkuudella.

Koeryhmä	n	Kantapuu	Elinkaari (v)	Keskivirhe	Minimi (v,kk)	Maksimi (v,kk)
E763	12	Lapinjärvi	9	0,57	7,11	10,1
E759	13	Lapinjärvi	9	1,08	6,11	11,1
E756	12	Lapinjärvi	8	1,09	5,10	10,2
E757	12	Lapinjärvi	6	1,49	3,1	8,11
E1038	13	Punkaharju	12	1,17	9,8	14,4
E408	9	Punkaharju	10	0,42	9,2	10,10
E1036	13	Punkaharju	10	0,59	8,10	11,2
E652	11	Punkaharju	10	1,06	8,9	12,1
E409	12	Punkaharju	9	0,57	7,11	10,1
E1037	14	Punkaharju	9	0,62	7,9	10,3
E653	12	Punkaharju	9	1,16	6,9	11,3
E654	11	Punkaharju	8	1,65	4,9	11,3
E404	12	Punkaharju	8	1,73	4,7	11,5
K302	13	Ähtäri	10	0,42	9,2	10,10
K311	12	Ähtäri	10	0,59	8,10	11,2
K312	12	Ähtäri	10	0,85	8,4	11,8
K310	12	Ähtäri	10	1,10	7,10	12,2
K306	12	Ähtäri	10	1,63	6,10	13,2
K308	12	Ähtäri	9	0,57	7,11	10,1
K305	12	Ähtäri	9	1,09	6,10	11,2
K309	11	Ähtäri	9	1,19	6,8	11,4
K304	11	Ähtäri	9	1,65	5,9	12,3
K303	12	Ähtäri	8	0,87	6,4	9,8
K301	12	Ähtäri	8	1,71	4,8	11,4
K307	10	Ähtäri	6	1,58	2,11	9,1
Kaikki kloonit	297	L, P, Ä	9	0,16	8,0	9,4

Taulukko 22. Kloonien 25 koeryhmän elinkaarien eroavuuden analyysi Kaplan-Meier menetelmällä log-rank-testillä.

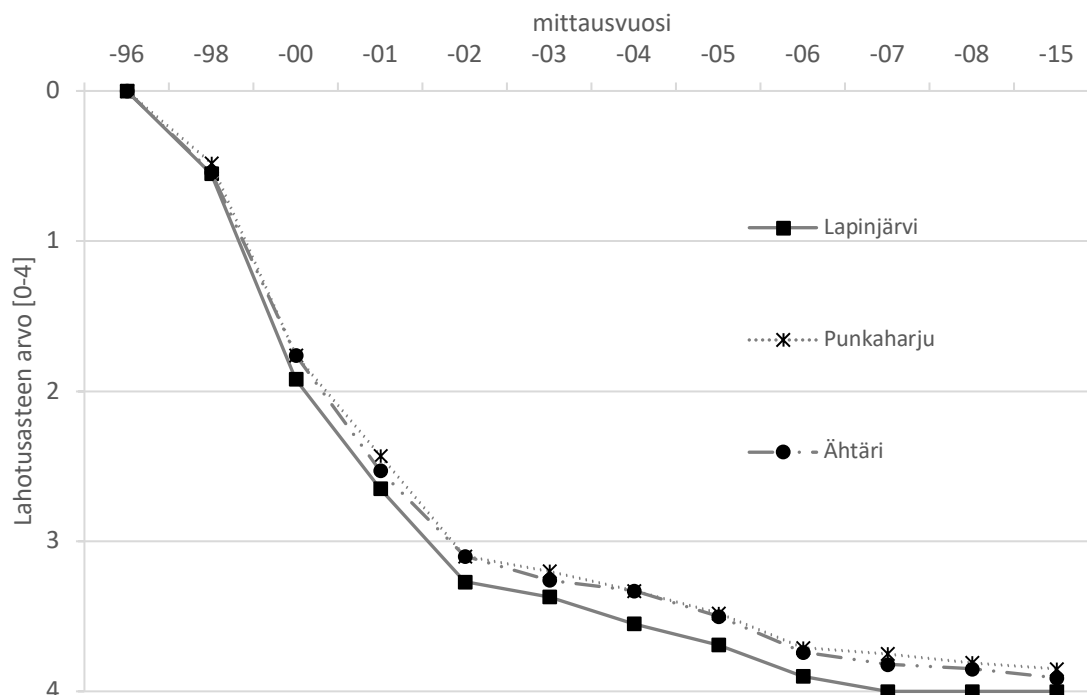
Testi	Khiin neliö	Vapausaste	p-arvo
Log-rank	40,37	24	0,019

3.3 Kantapuumetsikkötason tarkastelu

25-vuotiaiden siperianlehtikuusien kantapuumetsiköiden kolmen koeryhmän lahoasteiden keskiarvot alkoivat suurentua heti kokeen alkuvuosina (Taulukko 23 ja Kuva 13). Vuonna 2001, maalahotuskokeen kestänyt viisi vuotta, jokaisen koeryhmän lahoasteen keskiarvo oli ylittänyt arvosanan kaksi. Kaikkien kantapuumetsiköiden lahoasteet ylittivät arvosanan 3 kokeen kestänyt kuusi vuotta. Lapinjärven koeryhmän lahoasteen keskiarvo saavutti ensimmäisenä arvosanan 4. Tämä tapahtui vuoden 2007 mittauksissa kokeen kestänyt 11 vuotta. Tarkasteltaessa koeryhmien välistä lahonkeston paremmuutta, Lapinjärven lahoasteen keskiarvo pysyi suurimpana viiden vuoden kohdalta kokeen päättymiseen asti. Kokeen päättyessä Punkaharjun koeryhmän lahoasteen keskiarvo 3,85 oli koeryhmistä pienin. Ähtärin koeryhmän lahoasteen keskiarvo oli 3,85 kokeen kestänyt 12 vuotta.

Taulukko 23. Kantapuumetsiköiden koeryhmien lattojen lahoasteen keskiarvo (0-4) vuosittaisissa mittauksissa. Koeryhmien vuosittaiselle lahoasteelle on laskettu keskihajonta (s).

Kokeen aloituksesta (vuosi)	Lapinjärvi	s	Punkaharju	s	Ähtäri	s
5 vuoden jälkeen (-01)	2,65	0,60	2,43	0,66	2,53	0,71
6 vuoden jälkeen (-02)	3,27	0,51	3,10	0,57	3,10	0,65
7 vuoden jälkeen (-03)	3,37	0,48	3,20	0,49	3,26	0,60
8 vuoden jälkeen (-04)	3,55	0,47	3,33	0,50	3,33	0,60
9 vuoden jälkeen (-05)	3,69	0,50	3,48	0,47	3,50	0,50
10 vuoden jälkeen (-06)	3,90	0,46	3,71	0,31	3,74	0,44
11 vuoden jälkeen (-07)	4,00	0,44	3,75	0,00	3,82	0,39
12 vuoden jälkeen (-08)	4,00	0,39	3,81	0,00	3,85	0,36
19 vuoden jälkeen (-15)	4,00	0,36	3,85	0,00	3,91	0,28



Kuva 13. Kantapuumetsiköiden koeryhmien lahoasteen keskiarvon kehittyminen kokeen aloituksesta viimeiseen mittaukseen. Kuvaajassa origo poikkeuksellisesti ylhäällä lahoamisen ja puuaineen heikkenemisen visualisoinnin korostamiseksi.

3.3.1 Kantapuumetsiköiden koeryhmien lahoasteiden eroavuudet

Tarkasteltaessa 25-vuotiaiden siperianlehtikuusien kloonien kantapuumetsiköiden koeryhmiä (Taulukko 24) yksisuuntaisella toistettujen mittausten varianssianalyysillä, ajalla yksistään sekä koeryhmän yhteisvaikutuksella ajan kanssa oli tilastollisesti merkitsevät vaikutukset lahoasteen keskiarvon muutokseen ($p \leq 0,05$). Koeryhmien välillä lahoasteen keskiarvo erosi tilastollisesti merkitsevästi ($p \leq 0,05$) ainakin kahden koeryhmän välillä (Taulukko 25).

Taulukko 24. Kantapuumetsikkötason tarkastelun koeryhmät. Kloonien lukumäärä (n) viittaa kuinka monta kloonia on ollut edustettuna ja lattojen lukumäärä viittaa koekappaleiden lukumäärään.

Koodi	Koeryhmä	Kloonit n	Latat n
Lapinjärvi	Lapinjärven kantapuumetsikön kloonit	4	49
Punkaharju	Punkaharjun kantapuumetsikön kloonit	9	107
Ähtäri	Ähtärin kantapuumetsikön kloonit	12	141

Taulukko 25. Yksisuuntaisen toistettujen mittausten varianssianalyysin tulos lahoasteen keskiarvon eroavaisuudesta kantapuumetsiköiden koeryhmien välillä.

Tarkastelutaso	Vapausaste	F-testiluku	p-arvo
Kantapuumetsiköt	2	4,920	0,008

Kantapuumetsiköistä Lapinjärven lahoasteen keskiarvo erosi koeryhmien parittaisessa vertailussa tilastollisesti merkitsevästi ($p \leq 0,05$) Punkaharjusta sekä Ähtäristä (Taulukot 26–27). Parittaisessa vertailussa Punkaharjun ja Ähtärin lahoasteiden keskiarvot eivät eronneet tilastollisesti merkitsevästi ($p=1$) toisistaan.

Taulukko 26. Koeryhmien lahoasteiden arvioidut keskiarvot (Estimated Marginal Means) SPSS -ohjelman tulostamana. Luottamustaso 95 %.

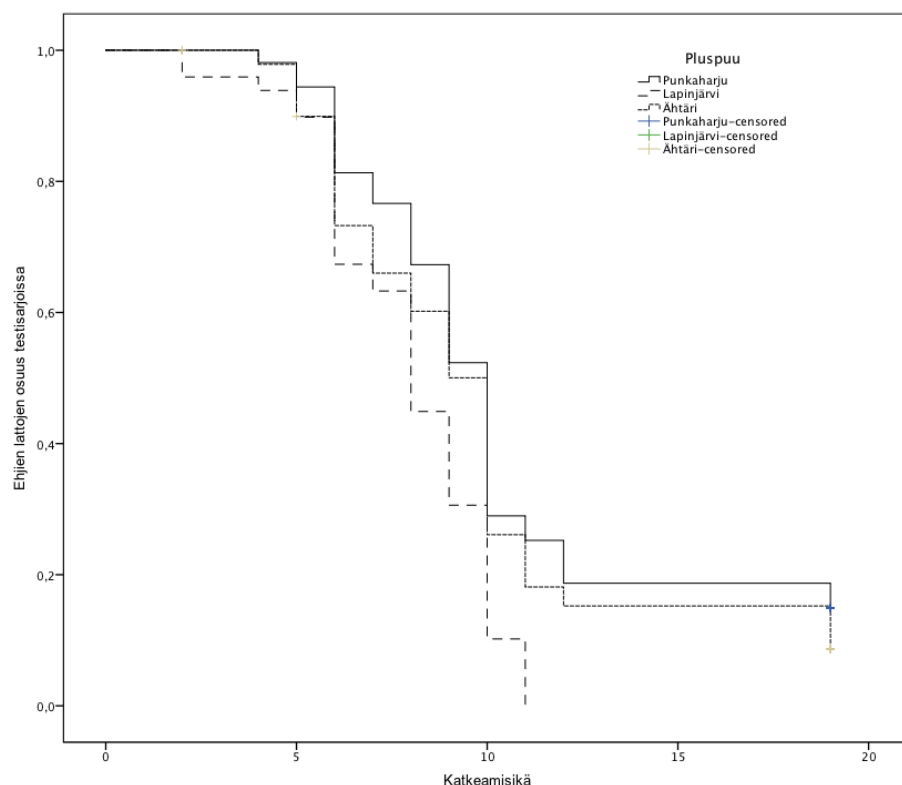
Kantapuu	Keskiarvo	Keskivirhe	Alaraja	Yläraja
Punkaharju	2,74	0,030	2,68	2,80
Lapinjärvi	2,91	0,045	2,82	3,00
Ähtäri	2,77	0,027	2,72	2,83

Taulukko 27. Kantapuumetsiköiden koeryhmien lahoasteiden keskiarvojen parittainen vertailu.

Kantapuumetsikkö	Kantapuumetsikkö	Keskiarvon ero	Keskivirhe	p-arvo
Punkaharju	Lapinjärvi	-0,17	0,054	0,007
	Ähtäri	-0,03	0,04	1
Lapinjärvi	Punkaharju	0,17	0,054	0,007
	Ähtäri	0,13	0,052	0,032
Ähtäri	Punkaharju	0,03	0,04	1
	Lapinjärvi	-0,13	0,052	0,032

3.3.2 Elinkaari kantapuumetsikkötasolla

Kaplan-Meier menetelmän log-rank-testissä kantapuumetsiköillä oli tilastollisesti merkitsevä vaikutus ($p > 0,001$) lattojen elinkaarien eroavuuksiin (Kuva 14 ja Taulukot 28-29). Lapinjärven elinkaaren mediaani oli 8 vuotta. Ähtärin sekä Punkaharjun elinkaaret olivat molemmilla 10 vuotta. Tarkasteltaessa vain Ähtärin ja Punkaharjun metsiköitä keskenään, elinkaaret eivät eronneet log-rank-testissä merkitsevästi ($p = 0,307$) toisistaan.



Kuva 14. Kantapuumetsiköiden koeryhmien elinkaaret. Suhteellinen osuus (y-akseli) kuvaa kuinka suuri osuus koeryhmän latoista on ehjinä ajan kuluessa (x-akseli). Lapinjärven kantapuumetsikön elinkaari harvalla katkoviivalla korostettuna.

Taulukko 28. Pluspuumetsiköiden keskimääräinen elinkaari Kaplan-Meier menetelmällä. Luottamustasona 95 %

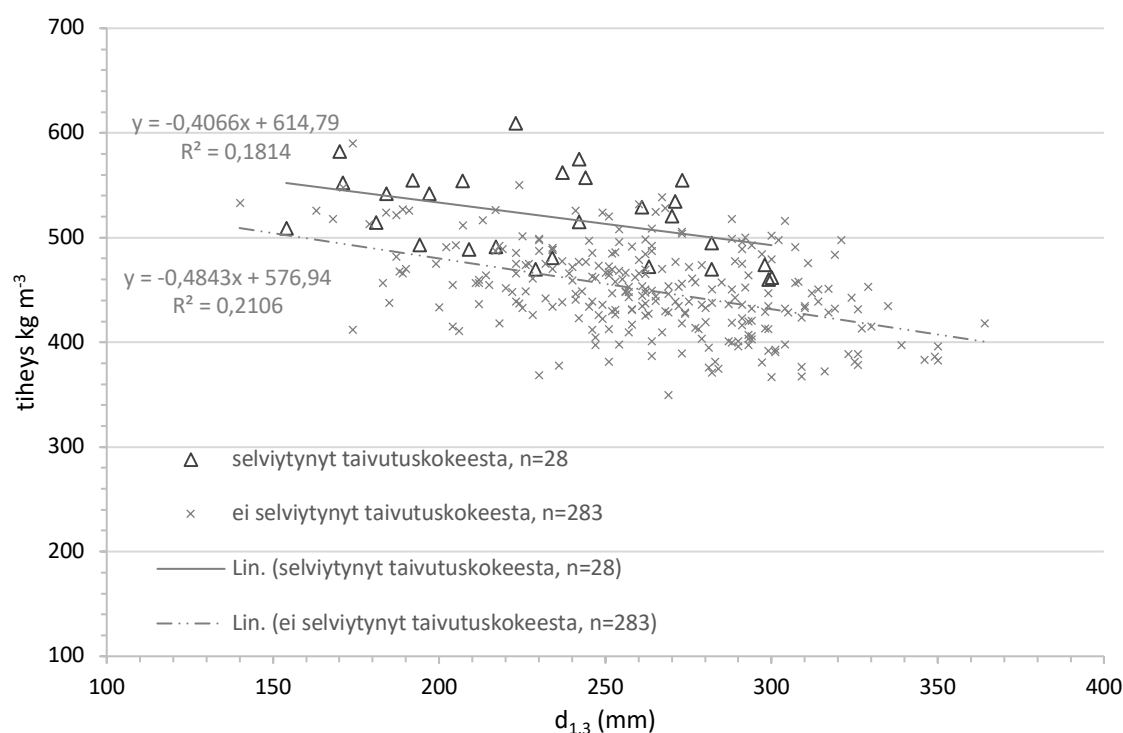
Koeryhmä	Elinkaari (v)	Keskivirhe	Minimi (v,kk)	Maksimi (v,kk)
Ähtäri	10	0,22	9,7	10,5
Punkaharju	10	0,23	9,7	10,5
Lapinjärvi	8	0,39	7,3	8,9
Keskimäärin	9	0,16	8,8	9,4

Taulukko 29. Kaplan-Meier menetelmällä, log-rank-testillä analysoitu pluspuumetsiköiden elinkaarien (Taulukko 28) välinen ero.

Testi	Khiin neliö	Vapausaste	p-arvo
Log-rank	15,76	2	> 0,001

3.3.3 Lahonkestoa selittäviä eroja

25-vuotiaista siperianlehtikuusista 28 lattaa säilyi ehjänä läpi kokeen (Kuva 15). Latat olivat peräisin 18 kloonista (Taulukko 30). Näiden kloonien kantapuumetsiköt olivat Pun-kaharju ja Ähtäri. Viimeisessä mittauksessa ehjäksi jääneiden 25-vuotiaiden siperianlehtikuusien puuaine oli keskimäärin tiheämpää (kuiva-tuoretiheys) kuin kokeen aikana tuhoutuneiden (Taulukko 31). Ehjäksi jääneiden 25-vuotiaiden siperianlehtikuusien puuaine oli rinnankorkeusläpimitaltaan pienempää kuin kokeen aikana tuhoutuneiden (Taulukko 31).



Kuva 15. Pistekaaviossa ehjänä säilyneiden ja kokeen aikana rikkoutuneiden 25-vuotiaiden siperianlehtikuusien rinnankorkeusläpimitta (x-akseli) ja kuiva-tuoretiheys (y-akseli).

Taulukko 30. Läpi kokeen ehjänä säilyneiden lattojen kloonit. Tiheyden keskiarvo on kloonien lattojen keskimääräiset kuiva-tuoretiheydet kg m⁻³.

Klooni	Alkuperäisen kantapuun kasvupaikka ⁽¹⁾	Tiheys \bar{x}	Kokeen lopussa ehjät latat
E404	Punkaharju	450,93	1
E408	Punkaharju	455,82	1
E652	Punkaharju	456,65	3
E409	Punkaharju	457,76	1
E653	Punkaharju	463,84	1
E1036	Punkaharju	470,95	3
E1037	Punkaharju	472,86	2
E1038	Punkaharju	494,09	4
K307	Ähtäri	438,11	1
K306	Ähtäri	441,71	2
K311	Ähtäri	452,71	1
K303	Ähtäri	453,33	1
K310	Ähtäri	456,20	1
K301	Ähtäri	456,49	1
K304	Ähtäri	461,07	1
K309	Ähtäri	465,58	2
K312	Ähtäri	468,11	1
K302	Ähtäri	474,56	1
			28

¹⁾ Martti Venäläinen, suullinen tiedonanto

Taulukko 31. Neitsyt Niemeltä harvennettujen 25-vuotiaiden siperianlehtikuusien keskimääräinen rinnan-korkeusläpimitta $d_{1.3}$ (mm) ja keskimääräinen kuiva-tuoretiheys (kg m⁻³).

Ryhmittely	Keskiarvo	Keskihajonta	n
Kaikki			
$d_{1.3}$	258,7	41,2	297
Tiheys	456,4	46,2	297
Katkenneet			
$d_{1.3}$	262,2	39,4	266
Tiheys	449,9	41,6	266
Ehjät			
$d_{1.3}$	233,1	42,8	28
Tiheys	520,0	40,9	28

Kantapuumetsiköiden puuaineen keskimääräinen kuiva-tuoretiheys (Taulukko 32) erosi tilastollisesti merkitsevästi (ANOVA, F-testiluku=6,860, $p \leq 0,05$) ainakin kahden metsikön välillä. Rinnankorkeusläpimitta ei eronnut merkitsevästi kantapuumetsiköiden välillä (ANOVA, F-testiluku=0,151, $p=0,860$).

Taulukko 32. Kantapuumetsiköiden lattojen keskimääräiset kuiva-tuoretiheydet kg m^{-3} .

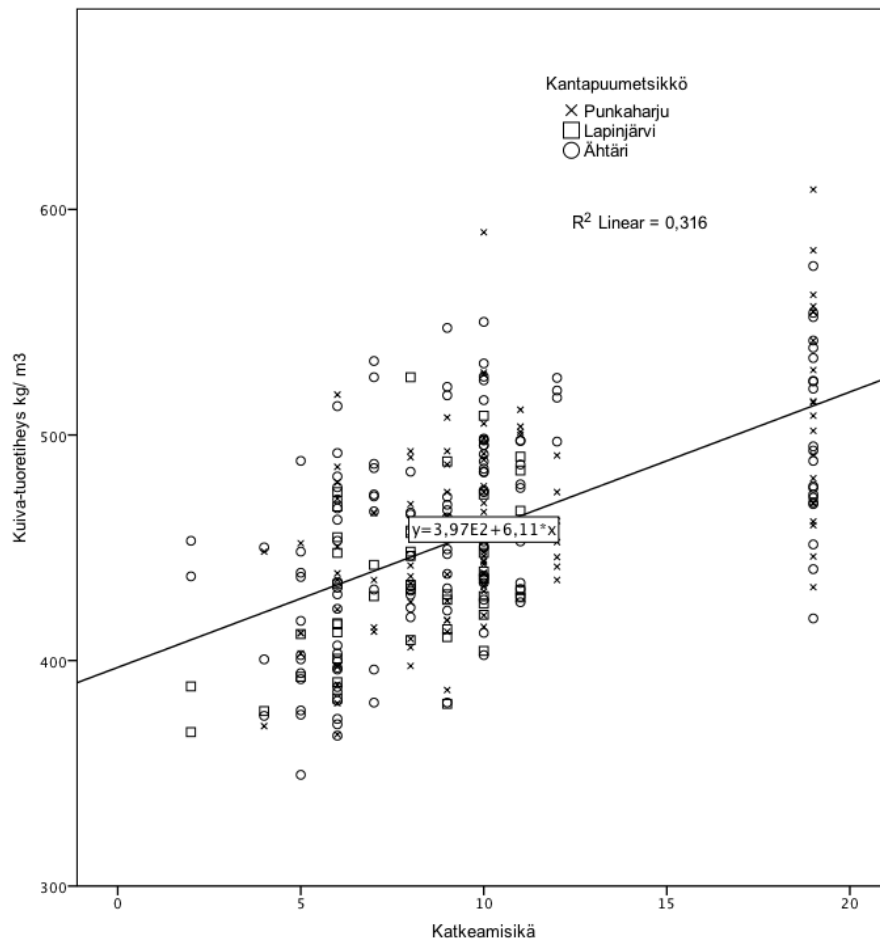
Kantapuumetsikkö	Tiheys \bar{x} (kg m^{-3})	Keskihajonta	Minimi	Maksimi
Lapinjärvi	434,69	34,05	368,27	525,60
Punkaharju	462,41	47,48	367,20	608,80
Ähtäri	459,29	46,93	349,33	574,93
Kaikki metsiköt	456,36	46,18	349,33	608,80

Lapinjärven kantapuumetsikön koeryhmän puuaineen kuiva-tuoretiheyden keskiarvo $434,69 \text{ kg m}^{-3}$ oli kantapuumetsiköiden parittaisessa vertailussa merkitsevästi pienempi ($p \leq 0,05$) verrattuna Punkaharjuun tai Ähtäriin (Taulukko 33). Punkaharjun 462 kg m^{-3} ja Ähtäriin 459 kg m^{-3} keskimääräiset kuiva-tuoretiheydet eivät eronneet parittaisessa vertailussa merkitsevästi ($p=1$) toisistaan.

Taulukko 33. Kantapuumetsiköiden koeryhmien kuiva-tuoretiheyden keskiarvojen parittainen vertailu.

Kantapuumetsikkö	Kantapuumetsikkö	Keskiarvon ero	Keskivirhe	p-arvo
Punkaharju	Lapinjärvi	27,72	7,81	0,001
	Ähtäri	3,12	5,81	1
Lapinjärvi	Punkaharju	-27,72	7,81	0,001
	Ähtäri	-24,60	7,51	0,004
Ähtäri	Punkaharju	-3,12	5,81	1
	Lapinjärvi	24,60	7,51	0,004

Kloonien puuaineen keskimääräisen kuiva-tuoretiheyden (kg m^{-3}) kasvu pidensi lattojen katkeamisikää (Kuva 16). Punkaharjun ja Ähtärin kantapuumetsiköiden kloonien latat olivat puuaineeltaan tiheämpiä ja samalla pitkäikäisempiä kuin Lapinjärven kantapuumetsikön kloonien latat.



Kuva 16. Kantapuumetsiköiden koeryhmiin kuuluvien lattojen katkeamisiän (x-akseli) riippuvuus puuaineen kuiva-tuoretiheydestä (y-akseli).

4. TULOSTEN TARKASTELU

4.1 25-vuotiaat siperianlehtikuusien lahonkestävyys ja vertailuaineisto

Tarkasteltaessa 25-vuotiaan siperianlehtikuusen luontaista lahonkestoa vertailuaineistoon on huomioitava koeryhmien kokoerot (Taulukko 34). Tästä syystä vertailuun puuaineiden paremmuudesta toisiinsa nähden tulee suhtautua mielestäni varauksella ja pitää tuloksia suuntaa antavina. Lahotuskokeissa käytetään männyn mantopuuta referenssiaineistona. Nyt toteutetussa maalahotuskokeessa ei ollut mukana männyn mantopuuta, joten standardin 350-2 luokitusta ei voitu määrittää koeryhmien puulajeille.

Taulukko 34. 25-vuotiaan siperianlehtikuusen ja vertailuaineiston koeryhmien koot.

Koodi	Koeryhmä	n
Nuoren sydän ⁽¹⁾	Siperianlehtikuusi, nuoren sydänpuu	314
Tiheä	Siperianlehtikuusi, tiheä sydänpuu	19
Mänty	Mänty, sydänpuu	16
Kuusi	Kuusi, sydänpuu	18

¹⁾ Sisältää kaikki 25-vuotiaat siperianlehtikuuset

Maalahotuskokeen latat pyrittiin valmistamaan sydänpuusta hohkaista nuorpuualueita välttämällä. Lattojen paksuus oli EN 252-standardin mukaisesti 25 mm. 25-vuotiaiden siperianlehtikuusien rinnankorkeusläpimitat ($d_{1,3}$) vaihtelivat 140–364 mm välillä. Sydänpuun muodostumisen tiedetään alkavan siperianlehtikuusella 5–15 vuoden iässä (Tuimala 1993, s.84; Martinsson ja Lesinski 2007, s.47). Siperianlehtikuusella sydänpuuosuus on sitä suurempaa mitä nopeammin puun rinnankorkeusläpimitta on laajentunut tiettyyn ikään mennessä (Hakkila ja Winter 1973, s.21). Nuorpuualue on noin 10–20 vuosiluston levyinen vyöhyke aivan ytimen ympärillä (Jääskeläinen ja Sundqvist 2007, s.14). Sydänpuun muodostumisen ja nuorpuualueen leveyden vaihtelu huomioiden voidaan olettaa, että jotkin latat ovat voineet sisältää nuorpuuta ja tai mantopuuta. Näin on voinut olla ainakin rinnankorkeusläpimitaltaan pienimpien puiden lattojen osalta.

Olisi ollut mielenkiintoista, jos kokeeseen olisi alun perin sisällytetty erikseen omana vertailuaineistonaan siperianlehtikuusen mantopuuta. Yhdessä puuttuneen männyn mantopuun kanssa siperianlehtikuusen mantopuu olisi voinut myös antaa vastauksen ovatko näiden havupuulajien mantopuiden lahonkesto yhtäläistä. Polubojarinovin ym. (2000, s.353) tutkimuksessa päästiin tällaiseen tulokseen mantopuiden lahonkeston osalta.

Siperianlehtikuusen sydänpuuta on yleisesti pidetty männyn sydänpuun veroisena ja kuusen sydänpuuta parempana. Tämä silloin kun ajatellaan eri havupuiden puuaineiden paremmuusjärjestystä luontaisen lahonkesto-ominaisuuden kautta. Maalahotuskokeen tulokset tukevat käsitystä, että siperianlehtikuusen sydänpuusta valmistetun sahatavaran luontainen lahonkesto olisi merkitsevästi parempaa kuin kuusen sydänpuusta valmistetun. Vertailtaessa 25-vuotiaista siperianlehtikuusen ja männyn lahonkestoja elinkaarianalyysillä, männyn sydänpuu oli heikompaa kuin lehtikuusen. Aiemmissa tutkimuksissa on saatu ristiriitaisia tuloksia. Esimerkiksi Fagerstedtin ym. (2016, s.74) mukaan joissakin lahotuskokeissa siperianlehtikuusen sydänpuu oli osoittautunut jopa männyn sydänpuuta heikommaksi. Maalahotuskokeessa oli 25-vuotiaita siperianlehtikuusia, joiden elinkaari oli mäntyä lyhyempi. Aineistojen kokoerot olivat suuret, ja 25-vuotiaan siperianlehtikuusen sydänpuuta ei voi tämän kokeen perusteella sanoa suoraan männyn sydänpuuta kestävämmäksi.

Vanhemman ja tiheän siperianlehtikuusen sydänpuun lahonkesto oli parempaa muihin koeryhmiin verrattuna. Viitasen (1997, s.117) mukaan lehtikuusen sydänpuun kestävyys olisi kutakuinkin männyn sydänpuun luokkaa, mutta tulokset vaihtelevat kummankin puulajin osalta hyvin laajasti. Tuimalan (1997, s.88) mukaan iäkkään puun oletetaan olevan luontaisesti lahonkestävämpää kuin nuoren, sillä se on painavampaa, joka riippuu kesäpuun osuudesta, jossain määrin vuosiluston leveydestä ja uuteaineiden runsaudesta. Esimerkiksi Viitasen ym. (1997) tutkimuksessa, joka tehtiin EN 113 menetelmää käyttäen, havaittiin 70- ja 102-vuotiaiden siperianlehtikuusien puuaineen lahonkestävyyden olevan selvästi parempaa kuin 25-vuotiaan. Maalahotuskokeen aineistojen kokoerot olivat suuret, mutta maalahotuskokeen tuloksia varovaisesti tulkiten ikä vaikuttaisi selkeyttävän varsinkin männyn ja siperianlehtikuusen lahonkeston keskinäistä paremmuusjärjestystä.

4.2 Luontainen lahonkestävyys kloon- ja kantapuumetsikkötasolla tarkasteltuna

Kloonien elinkaarien välillä oli tilastollisesti merkitsevää eroavuutta. Lahoasteen keskiarvot kehittyivät homogeenisesti ja niiden välillä ei ollut tilastollisesti merkitsevää eroa. Elinkaarissa oli havaittavissa kloonien sisäistä vaihtelua, mutta vaihtelua ilmeni myös kloonien välillä. Lyhyimmillään kloonien elinkaarien mediaani oli 6 vuotta ja pisimmillään 12 vuotta. Puuaineen kuiva-tuoretiheyden (kg m^{-3}) kasvu vaikutti merkitsevästi elinkaaren pitenemiseen (Kuva 17).

Maalahotuskokeen koekappaleiden tai niiden kaksoiskappaleiden puuaineille ei tehty kemiallisia analyysejä. Näin ollen uuteainepitoisuuksista eikä niiden mahdollisista eroavaisuuksista voida sanoa mitään. Uuteaineanalyysi olisi tuonut mielenkiintoisen muuttujan mukaan, sillä uuteaineita ja niiden vaikutuksia on tutkittu aiemmin. Taksifoliinin ja muiden flavonoidien sekä vesiliukoisten uuteaineiden pitoisuuksien tiedetään korreloivan negatiivisesti puuaineen massahäviön kanssa, viitaten näiden olevan merkittäviä lahon hidastajia siperianlehtikuusen sydänpuussa (Gierlinger ym. 2003; Venäläinen ym. 2006). Aiemmissa tutkimuksissa lahonkesto-ominaisuuden on havaittu olevan perinnöllistä. Esimerkiksi Venäläisen ym. (2001) tutkimuksessa havaittiin lahonkestävyyden määräytyvän perinnöllisten tekijöiden kautta. Tätä taustaa vasten olisi ollut mielenkiintoista nähdä olisiko kloonien uuteainepitoisuuksissa ollut merkitsevää eroavuutta.

Klooneja tarkasteltiin niiden lähtöisyyden mukaan eli kantapuumetsikkötasolla. Punkaharjun ja Ähtärin kantapuumetsiköiden kloonien puuaines oli merkitsevästi tiheämpää kuin Lapinjärven. Punkaharjun sekä Ähtärin kantapuumetsiköiden kloonien elinkaari oli merkitsevästi pidempi kuin Lapinjärven. Kantapuumetsikkötasolla puuaineiden tiheyden ja elinkaarien eroavuuksien tulos oli mielenkiintoinen havainto, sillä samoja emoklooneja on tutkittu aiemmin. Mikola (1993) tutki siemenviljelyksellä sv16 vapaasti pölyttyneestä, emoklooneittain kerätystä siemenaineistosta perustettuja neljää erillistä jälkeläiskoesarjaa. Mikolan (1993) jälkeläiskokeissa tutkittiin pituuskasvutuloksia ja elossa oloa eri koepaikoilla. Jälkeläiset pohjautuivat samoihin 25:een emoklooniiin, jotka ovat mukana nykyisessä analysoitavassa maalahotuskokeen aineistossa. Mikolan (1993, s.28) tutkimuksessa todettiin jälkeläisperheiden pituuskasvun paremmuusjärjestyksen vaihtelevan epämääräisesti koepaikalta toiselle, eikä elossapysymisessäkään ollut mitään selvää suuntaa. Mikolan (1993, s.28) johtopäätöksenä oli, ettei kantapuiden alkuperällä ainakaan Etelä- ja Keski-

Suomen puitteissa näyttänyt olevan mitään merkitystä niiden jälkeläisten kasvun tai kestävyyden kannalta. Nyt analysoidun maalahotuskokeen perusteella voidaan kuitenkin sanoa, että kantapuiden alkuperällä on merkitystä. Alkuperällä on merkitystä kun tarkastellaan näissä metsiköissä kasvavien kloonien lahonkesto-ominaisuuksia. Punkaharjun ja Ähtärin kantapuumetsiköistä tulevien kloonien lahonkesto-ominaisuus oli Lapinjärven klooneja parempi. Näin oli ainakin 25-vuotiaiden puiden osalta.

Yhdistettäessä maalahotuskokeen tuloksia Mikolan (1993) tuloksiin, voidaan ajatella samojen 25 emokloonien jälkeläisten pärjäävän kasvullisesti yhteneväisesti. Emokloonista riippuen puuaineiden perusominaisuuksista lahonkesto ja tiheys kuitenkin eroavat merkittävästi. Onko tämä sitten perintötekijöiden vai metsiköiden kasvupaikkojen aiheuttamaa? Oletettaessa lahonkesto-ominaisuuden olevan perinnöllinen tekijä ja tiettyjen emokloonien jälkeläisten lahonkeston olevan aina merkittävästi parempaa kuin toisten, niin tällä voi olla vaikutusta viljelyiden perustamiseen ja jopa puukauppaan. Kotimainen puukauppa pohjautuu pääasiallisesti puun tilavuuden hinnoitteluun, mutta loppukäyttäjä saat-
taa arvostaa esimerkiksi sydänpuun lahonkesto-ominaisuutta. Tällaisessa tilanteessa ei ole välttämättä samantekevää maksetaanko kahdesta saman tilavuuden omaavasta tukkipuurungosta sama euromäärä per kuutio, tiedettäessä toisen lahonkesto-ominaisuuden olevan (vaihteluväli huomioden) periytyvien tekijöiden takia huomattavasti heikompaa kuin toisen. Halutun ominaisuuden korostuminen voi siis vaikuttaa jalostusarvoon ja tämä voidaan mitata rahallisesti hyödyttäen metsänomistajaa sekä puun ostajaa.

Toteutetun maalahotuskokeen tulokset antavat aihetta syventyä ilmiöön tarkemmin. Neitsyntiemeltä harvennetut siperianlehtikuuset olivat 25-vuotiaita ja tänä päivänä siellä kasvavat yksilöt ovat noin 50-vuotiaita. Siperianlehtikuusen kasvutavan mukaisesti voidaan olettaa, että siemenviljelyksellä nyt kasvavissa rungoissa sydänpuun osuus on suurempi kuin aikanaan harvennetuissa. Olisi mielenkiintoista nähdä onko kloonien lahonkesto-ominaisuuksien paremmuussuhteet pysyneet saman kaltaisina ja vieläkö ero korostuu kantapuumetsikkötasolla tarkasteltuna.

Maalahotuskokeen toisinnon sijaan voisi ajatella standardin EN 113 mukaista lahottajasienen ymppäyksen avulla tehtävää laboratoriokoetta. EN 113-standardin kokeen minimikesto 16 viikkoa on huomattavasti lyhyempi kuin EN 252-standardin vaatima minimi viisi vuotta. EN 113 on vaativa menetelmä ja laajalti sovellettu (Viitanen 1997, s.119;

Venäläinen ym. 2006). Laboratoriokoe voisi olla hyvä apuväline tutkittaessa ilmiötä laajemmin. Nyt saatujen maalahotuskokeen tuloksia voitaisiin hyödyntää referenssiaineistona laboratoriokokeiden tulosten analyysissä. Myös uuteaineanalyysi voisi tuoda lisätietoa perinnöllisten ominaisuuksien tarkasteluun. Lisäksi olisi tarpeellista tutkia kantapuiden muualla kasvavia jälkeläisiä ja näiden lahonkesto-ominaisuutta esimerkiksi EN 113-standardin menetelmin. Tätä kautta voitaisiin jäljittää, onko maalahotuskokeen tuloksissa kasvupaikan olosuhteiden vaikutusta vai perinnöllisten tekijöiden tuomaa kaikua.

5. JOHTOPÄÄTÖKSET

Neitsytniemen siemenviljelykseltä sv356 harvennettujen 25-vuotiaiden siperianlehtikuusien luontaisessa lahonkesto-ominaisuudessa havaittiin esiintyvän vaihtelua. Mielenkiintoisen havainnosta tekee se, että lahonkesto-ominaisuus eroaa kantapuumetsikkötasolla. Saatuja tuloksia voitaneen hyödyntää suoraan Neitsytniemen siemenviljelyksen kehittämisessä, ja varauksella uusien metsiköiden perustamisessa lahonkesto-ominaisuuksiltaan tasalaatuisempia linjoja etsittäessä. Jatkotutkimuksissa on selvitettävä mitkä perinnölliset tekijät selittävät tässä tutkimuksessa ilmenneitä lahonkesto-ominaisuuksien eroja ja onko kasvupaikoilla mahdollista vaikutusta näiden 25 kloonin luontaisen lahonkesto-ominaisuuden muotoutumiseen.

Metsissämme kasvullisesti hyvin menestyvän siperianlehtikuusen viljelyspinta-alan soisi kasvavan tulevaisuudessa. Puulajikirjomme monipuolisuutta vahvistamalla emme saisi ainoastaan nauttia useammassa metsälössä seisovan omaleimaisen kasvutavan omaavan puusuvun edustajan vuodenajoittain vaihtelevasta habituksesta, vaan ennen kaikkea varmistamalla siperianlehtikuusen puuston määrän kasvamisella voitaisiin luoda vakaampi vaihtoehto puuraaka-ainemarkkinoille.

LÄHTEET

- AWPA Standards. (2018). [www-sivusto]. American Wood Protection Association. Saatavissa: www.awpa.com. [Viitattu 10.9.2018].
- Borsholt E., Henriksen K. (1992). Guideline for: Guideline for EN 252: Field Test Method for Determining the Relative Protective Effectiveness of Wood Preservative in Ground Contact. Inspection and Evaluation of the Attack of Stakes Caused by Microorganisms. Nordic Wood Preservation Council. 45 s.
- Campbell, N. A., Reece, J. B., Urry, L. A., Cain, M. L., Wasserman, S. A., Minorsky, P. V., Jackson, R. B. (2010). Campbell Biology, yhdeksäs painos. USA: Pearson Education Inc. 1464 s.
- Curnel Y., Jacques D., Gierlinger N., Pâques L. E. (2008). Variation in the decay resistance of larch to fungi. *Annals of Forest Science* January 2008, Volume 65, Issue 8, s 810–810. Springer Netherlands. <https://doi.org/10.1051/forest:2008062>.
- Fengel D., Wegener G. Wood. (1989). [www-julkaisu]. Wood: Chemistry, Ultrastructure, Reactions. Berlin; New York : Walter de Gruyter 1989. 613 s. Saatavissa: <https://helka.finna.fi/Record/helka.3098092>. [Viitattu 12.9.2019].
- EN 252 Field test method for determining the relative protective effectiveness of wood preservatives in ground contact. (1989). European Committee for Standardization.
- EN 350-1 Durability of wood and wood-based products – Natural durability of solid wood – Part 1: Guide to the principles of testing and classification of the natural durability of wood. European Committee for Standardization.
- Fagerstedt K., Pellinen K., Saranpää P., Timonen T. (2004). Mikä puu – mistä puusta. 2. korjattu painos. Yliopistopaino. Helsinki. 184 s.
- Fagerstedt K., Pellinen K., Saranpää P., Timonen T. (2016). Tunnista puu ja puuaine. Metsäkustannus Oy. Jelgava Printing House, Latvia. 180 s.

- Gierlinger N., Jacques D., Schwanninger M., Wimmer R. (2003). Heartwood extractives and lignin content of different larch species (*Larix* sp.) and relationships to brown-rot decay-resistance. *Trees* 2004, Vol.18 (2), s. 230-236. DOI:10.1007/s00468-003-0300-0.
- Hakkila P., Winter A. (1973). On the properties of larch wood in Finland. *Metsäntutkimuslaitoksen julkaisuja* 79.7. Helsinki. 45 s.
- Henriksson, G., Gellerstedt, G., & Ek, M. (2009). [Verkkojulkaisu]. Pulp and paper chemistry and technology : Volume 1, Wood Chemistry and Wood Biotechnology. Berlin: De Gruyter. Saatavissa: <https://helka.finna.fi/Record/helka.3137016>. [Viitattu 7.9.2018].
- Hokajärvi, T. (1993). Lehtikuusi metsähallituksen mailla. Julkaisussa: Moilanen, M.& Murtovaara, I. (toim.). *Metsäntutkimuspäivä Kajaanissa 1992. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 464: s.4-8. 130 s. ISBN 951-40-1308-5.
- Ilmasto-opas.fi. (2013). [www-sivusto]. Monimuotoinen ilmastonmuutostieto yhdeltä verkkosivustolta. Ilmatieteen laitos (IL), Suomen ympäristökeskus (SYKE) ja Aalto-yliopiston Yhdyskuntasuunnittelun tutkimus- ja koulutuskeskus (YTK). Saatavissa: <https://ilmasto-opas.fi/fi/ilmastonmuutos/suomen-muuttuva-ilmasto-/artikkeli/7a609e95-e98d-4b18-a007-e890fcc0b4f1/etela-savo-jarvet-vaikuttavat-ilmastoon.html>. [Viitattu 18.6.2018].
- Ilmatieteen laitos. (2018) [www-sivusto]. Ilmatieteen laitoksen verkkopalvelu. Saatavissa: <http://ilmatieteenlaitos.fi/havaintojen-lataus#!/>. [Viitattu 18.6.2018].
- Isomäki A. (1997). Tsaarien perintö elää yhä Karjalan kannaksella. Mitä tapahtuu Raivolan lehtikuusille? *Metsätieteen aikakauskirja vuosikerta 1997 numero 4* artikkeli id 6240: s. 537-542. <https://doi.org/10.14214/ma.6240>.
- Jebrane M., Pockrandt M., Terziev N. (2014). Natural durability of selected larch and Scots pine heartwoods in laboratory and field tests. *International Biodeterioration & Biodegradation* July 2014, Vol. 91. s.88-96. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ibiod.2014.03.018>.

- Jääskeläinen A-S., Sundqvist H. (2007). Puun rakenne ja kemia. Otatieto/ Oy Yliopistokustannus University Press Ltd., Hakapaino Oy, Helsinki. 142 s.
- Kärkkäinen M. (1978). Havaintoja iän vaikutuksesta lehtikuusen puuaineen tiheyteen. Silva Fennica vol. 12 no. 1 article id 4989. <https://doi.org/10.14214/sf.a14843>.
- Kärkkäinen M. (2007). Puun rakenne ja ominaisuudet. Tekijä ja metsäkustannus Oy. Karitso Oy, Hämeenlinna. 468 s.
- Lepistö M., Napola J. (2005). Siperianlehtikuusi – viljely, käyttö ja jalostus. Metsätieteen aikakauskirja vuosikerta 2005 numero 2 artikkeli id 5796. <https://doi.org/10.14214/ma.5796>.
- Lukkarinen A. J., Ruotsalainen S., Nikkanen T., Peltola H. (2011). Venäläisten lehtikuusialkuperien elävyys, pituuskasvu ja tuhot maastokokeilla Punkaharjulla ja Kivalossa. Metsätieteen aikakauskirja vuosikerta 2011 numero 1 artikkeli id 5941: s.81-82. <https://doi.org/10.14214/ma.5941>.
- Martinsson O., Lesinski J. (2007). Siberian larch - Forestry and Timber in a Scandinavian Perspective. JiLU Jämtlands Countu Council institute of Rural Development. Prinfo Accidenstryckeriet. 90 s.
- MetINFO – Puulajit. (2010). [Verkkodokumentti]. Luonnonvarakeskus. Saatavissa: <http://www.metla.fi/metinfo/puulajit/ulkomaisethavupuut/sukusivu-lajilista-larix.htm>. [Viitattu 22.4.2018].
- Metsä-Kortelainen S., Viitanen H. (2009) Decay resistance of sapwood and heartwood of untreated and thermally modified Scots pine and Norway spruce compared with some other wood species. Wood Material Science and Engineering 4:3-4. s 105-114. <https://doi.org/10.1080/17480270903326140>.
- Metsäpuiden siemen- ja taimituotanto. (2019a). [Verkkodokumentti]. Ruokavirasto. <https://www.ruokavirasto.fi/viljelijat/kasvintuotanto/metsapuiden-siemen-ja-taimituotanto/perusaineisto/>. [Viitattu 1.2.2019].

- Metsätilastollinen vuosikirja 2011. (2011). [Verkkojulkaisu]. Luonnonvarakeskus - Luke.
Saataavissa: <http://www.metla.fi/metinfo/tilasto/julkaisut/vsk/2011/index.html>.
[Viitattu 22.4.2018].
- Metsätilastollinen vuosikirja 2014. (2014). [Verkkojulkaisu]. Luonnonvarakeskus - Luke.
Saataavissa: <http://www.metla.fi/metinfo/tilasto/julkaisut/vsk/2014/index.html>.
[Viitattu 22.4.2018].
- Meyer L., Brischke C., Preston A. (2014). Testing the durability of timber above ground:
A review on methodology. Wood Material Science & Engineering, 2016, 11:5,
s.283-304. <https://doi.org/10.1080/17480272.2014.983163>.
- Mikola J. (1993). Lehtikuusen valintajalostuksen mahdollisuudet. Julkaisussa: Moilanen
M., Murtovaara I., (toim.). Metsäntutkimuspäivä Kajaanissa 1992. Metsäntutki-
muslaitoksen tiedonantoja 464: s.20 – 31. 130 s. ISBN 951-40-1308-5.
- Nicholas D. D., Crawford D. (2003). Concepts in the Development of New Accelerated
Test Methods for Wood Decay. Wood deterioration and preservation : advances in
our changing world. Washington, DC : American Chemical Society, c2003.
ACS symposium series; 845. s.288-312.
- Palanti S., Feci E., Torniai A M. (2011). Comparison based on field tests of three
low-environmental-impact wood treatments. International Biodeterioration & Bio-
degradation 2011 vol. 65. s.547-552. Saataavissa: [doi:10.1016/j.ibiod.2010.12.012](https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2010.12.012).
[Viitattu 29.9.2018].
- Polubojarinov O. I., Chubinsky A. N., Martinsson O. (2000) Decay Resistance of Siberian
Larch Wood. Ambio 1 September 2000, Vol. 29 (6), s .352-353. Springer on behalf
of Royal Swedish Academy of Sciences.
- Redko G., Mälkönen E. (2001). Lintulan lehtikuusimetsä. Metsäntutkimuslaitos, Vantaa.
89 s. + 1 liite. ISBN:951-40-1792-7.
- Reinikainen J. (1997). Lehtikuusi ja muut ulkomaiset havupuut. Kustannusosakeyhtiö
Metsälehti. Gummerus Kirjapaino Oy, Saarijärvi. 172 s.

- Robert V., Stegehuis G. Stalpers J. (2005). [www-sivusto]. The MycoBank engine and related databases. Saatavissa: <http://www.mycobank.org>. [Viitattu 1.2.2019].
- Ruotsalainen S. (2018). Raivolan lehtikuusikon ja Suomessa viljeltyjen lehtikuusten alkuperästä. Metsätieteen aikakauskirja vuosikerta 2018 artikkeli id 9929. 10 s. <https://doi.org/10.14214/ma.9929>.
- Råberg U., Edlund M-L., Terziev N., Land C. J. (2005). Testing and evaluation of natural durability of wood in above ground conditions in Europe – an overview. The Japan Wood Research Society 2005, 51:429–440. DOI 10.1007/s10086-005-0717-8.
- Siemenviljelysten käyttöaluekartat. (2019b). [Verkkodokumentti]. Ruokavirasto. Saatavissa: <https://www.ruokavirasto.fi/viljelijat/kasvintuotanto/metsapuiden-siemen-ja-taimituotanto/perusaineisto/kayttoaluekartat/Hyvaksytyt-siemenviljelykset/>. [Viitattu 1.2.2019]
- Silander V., Lehtonen J., Nikkanen T. (2000). Ulkomaisten havupuulajien menestyminen Etelä-Suomessa. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 787. 127 s. ISBN:951-40-1754-4.
- Simonen S. (1944). Maatalouden pikku jättiläinen. Werner Söderström Osakeyhtiö. Porvoo. 1192 s.
- Stenius P. (2000). Papermaking science and technology : Book 3, Forest products chemistry. Fapet Oy. Gummerus, Jyväskylä. ISBN 952-5216-03-9. 350 s.
- Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. (2018). [www-sivusto]. Standardisoinnin keskusjärjestö. Saatavissa: <https://www.sfs.fi/>. [Viitattu 10.9.2018].
- Tuimala A. (1993). Lehtikuusipuun ominaisuudet ja käyttö. Julkaisussa: Moilanen M., Murtovaara I., (toim.). Metsäntutkimuspäivä Kajaanissa 1992. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 464. s.79 – 90. 130 s. ISBN:951-40-1308-5.

- Venäläinen M., Harju A., Nikkanen T., Paaanen L., Velling P., Viitanen H. (2001). Genetic Variation in the Decay Resistance of Siberian Larch (*Larix sibirica* Lebed.) Wood. *Holzforschung* Vol. 55, 2001, 1-6. 6 s. DOI: 10.1515/HFSG.2001.1.
- Venäläinen M., Harju A. M., Terziev N., Laakso T., Saranpää P. (2006). Decay resistance, extractive content, and water sorption capacity of Siberian larch (*Larix sibirica* Lebed.) heartwood timber. *Holzforschung*, Vol. 60, s.99-103. DOI:10.1515/HF.2006.017
- Verkasalo E., Viitanen H., (toim.). (2001). Lehtikuusi puusepänteollisuuden raaka-aineena. Yhteistutkimuksen loppujulkaisu. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 809. 152 s. ISBN:951-40-1782-X.
- Viitanen H. (1997). Suomalaisen puun luontaisen lahonkestävyyden hyödyntäminen. *Metsätieteen aikakauskirja vuosikerta 1997 numero 1 artikkeli id 6368*: s 116-120. <https://doi.org/10.14214/ma.6368>.
- Viitanen H. (2008). [Verkkodokumentti] Puutavaran kestävyys ja valinta. Rakentajain kalenteri 2008 Vol.92, 428–435. Saatavissa: <https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK080401.pdf>. [Viitattu 23.12.2018].
- Viitanen H., Paaanen L., Saranpää P., Viitaniemi P. (1997). Durability of larch (*Larix* spp) wood against brown-rot fungi. In: The International Research Group on Wood Preservation, 28th Annual Meeting, Vancouver, Canada, 26-30 May, 1997. Proceedings. 8 s.
- Äijälä, O., Koistinen, A., Sved, J., Vanhatalo, K. & Väisänen, P. (toim.). (2014). Metsänhoidon suositukset. Metsätalouden kehittämiskeskus Tapion julkaisuja. 181 s.